



BASSIN RHONE MEDITERRANEE CORSE

GUIDE TECHNIQUE N° 2

DETERMINATION DE L'ESPACE
DE LIBERTE DES COURS D'EAU

NOVEMBRE 1998



SDAGE
RHONE MEDITERRANEE CORSE

BASSIN RHONE MEDITERRANEE CORSE

GUIDE TECHNIQUE N° 2

DETERMINATION DE L'ESPACE
DE LIBERTE DES COURS D'EAU

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
PRINCIPES GENERAUX	4
A. Eléments de dynamique fluviale et écologique	4
Généralités	4
Echelles de temps et équilibre des styles fluviaux	5
Dynamique écologique	6
B. Les enveloppes de mobilité	7
C. Choix des méthodes et du niveau de précision : Nécessité d'une pré-étude	8
Approche typologique	8
Etat du cours d'eau	9
Enjeux socio-économiques	10
DELIMITATION DES ESPACES DE MOBILITE	11
A. ETAPE I : Délimitation de l'espace de mobilité maximal (EMAX)	11
Concepts	11
Méthode de définition	13
B. ETAPE II : Délimitation de l'espace de mobilité fonctionnel (EFONC)	14
Sous-étape II.1 : Approche par le concept d'amplitude d'équilibre	14
Sous-étape II.2 : Approche par la capacité de transport	19
Sous-étape II.3 : Approche géomorphologique historique	21
Sous-étape II.4 : Les zones d'érosion sur 50 ans (ER50)	25
Sous-étape II.5 : Délimitation de l'enveloppe minimale fonctionnelle	26
Sous-étape II.6 : Approche socio-économique	28
C. ETAPE III : Délimitation de l'espace de mobilité minimal (EMIN)	29
Concepts	29
Méthode	30
D. Grille de choix des méthodes de définition des espaces de mobilité	31
CONCLUSION	33
A. Principes de gestion des espaces de mobilité fonctionnel et minimal	33
B. Autres espaces de gestion	34
BIBLIOGRAPHIE	36
ANNEXE I : Synthèse bibliographique des relations géométriques des rivières à méandres	37
ANNEXE I : Exemple de cartographie des espaces de mobilité	38
ANNEXE III : Aide à la rédaction de cahiers des charges d'études de définition de l'espace de mobilité	39

Plusieurs décennies, voire plusieurs siècles, d'intervention sur les cours d'eau nous amènent aujourd'hui à des situations souvent dysfonctionnelles, parfois irréversibles.

L'**incision des lits fluviaux**, observée sur de nombreux cours d'eau à fond mobile, est généralement due à une sur-exploitation de leurs alluvions actuelles (c'est le cas sur la Loire, l'Allier, la Garonne, le Fier, le Buëch, la Bléone, etc.) dans un contexte de déficit naturel en sédiments. Cette incision présente des inconvénients majeurs, dont le plus grave est probablement la **réduction corrélative de l'épaisseur de l'aquifère alluvial**, donc la perte, à court terme, d'une ressource en eau potable de qualité (il est déjà trop tard sur la Loire Forézienne...). Un autre impact majeur sur le plan socio-économique est la **destabilisation d'ouvrages d'art** (ponts, digues), fort coûteux à reconstruire ou à surprotéger. Enfin, des **impacts écologiques** sont observés : la modification des peuplements végétaux riverains par suite de l'enfoncement de la nappe alluviale, la banalisation des milieux, ...

Les travaux de **recalibrage, endiguement, enrochement, rectification** ont eux aussi durablement contribué à modifier et perturber les processus d'ajustement morphodynamique et le fonctionnement des écosystèmes qui leur sont corrélés. Il est apparu, de surcroît, que nombre de ces interventions étaient très discutables sur le plan de leur rentabilité économique.



Lit à méandres

La prise de conscience collective de ces impacts ouvre la voie à de nouveaux concepts de gestion des hydrosystèmes, dont l'un, qui s'inscrit comme préconisation fondamentale dans la plupart des SDAGE, est la **préservation d'un espace de liberté, ou espace de mobilité des cours d'eau**.

La compréhension des lois de la dynamique fluviale, sédimentologique, écologique est encore très largement du domaine de la recherche. Il est toutefois possible de proposer, dès aujourd'hui, des méthodes de détermination de l'espace de mobilité, rapides et relativement faciles à mettre en œuvre. Elles permettront aux maîtres d'ouvrage et aux gestionnaires des cours d'eau d'agir avant d'atteindre des **seuils d'irréversibilité**. Nous proposons donc ci-après un panel de méthodes permettant d'aboutir à la définition et à la cartographie d'un espace de mobilité.

La définition que nous retiendrons pour cet espace de liberté ou de mobilité est celle donnée dans le SDAGE Rhône-Méditerranée-Corse :

" espace du lit majeur à l'intérieur duquel le ou les chenaux fluviaux assurent des translations latérales pour permettre une mobilisation des sédiments ainsi que le fonctionnement optimum des écosystèmes aquatiques et terrestres ".

(SDAGE RMC, Volume 1, Mesures opérationnelles générales, § 3.1.3.1., p53)

Cette définition guidera les diverses approches méthodologiques présentées ci-après.



Lit en tresses

A. Eléments de dynamique fluviale et écologique

Généralités

Dans des conditions naturelles, les rivières tendent à établir une combinaison dynamiquement stable entre leurs différentes variables constitutives :

- les variables de contrôle,
- les variables de réponse.

Parmi les **variables de contrôle**, deux sont fondamentales et régissent en grande partie la dynamique fluviale :

- le débit liquide : Q
- le débit solide : Q_s

Le schéma de la figure 1 permet de comprendre que la rivière cherche son équilibre entre le taux de charge alluviale imposé (Q_s) et le débit liquide (Q) qui produit l'énergie capable de l'évacuer, en ajustant sa géométrie en plan, en long et en travers (variables de réponse).

De manière très simplifiée (figure 2), la dynamique fluviale peut être présentée comme l'oscillation permanente de l'aiguille d'une balance dont l'un des plateaux serait rempli de sable (qui symbolise ici la variable Q_s), et l'autre d'eau (le débit Q). Les quantités respectives et les rapports de ces deux éléments étant extrêmement fluctuants (à l'échelle de la journée, de l'année, du millier d'années), il s'ensuit un ajustement permanent de la géométrie du cours d'eau par le biais des processus d'érosion-dépôt.

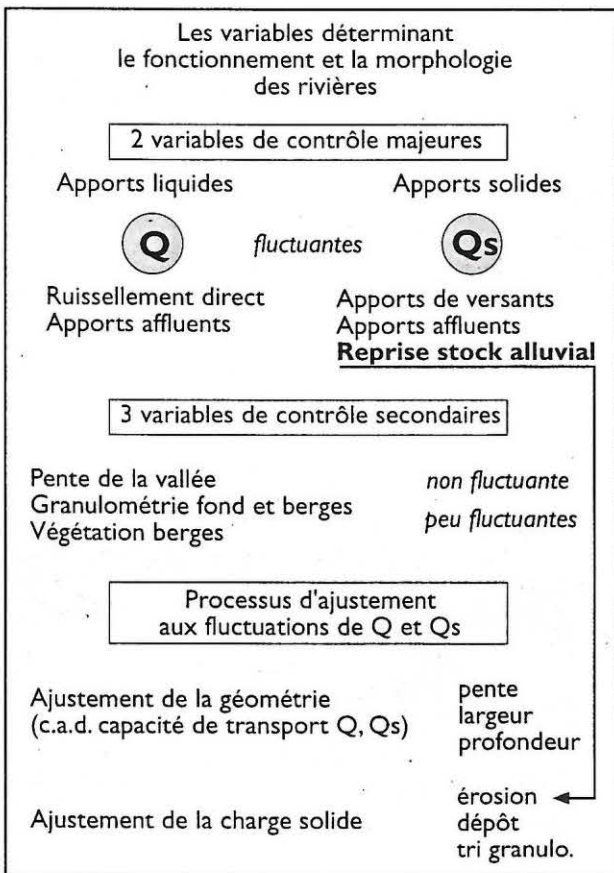


Figure 1

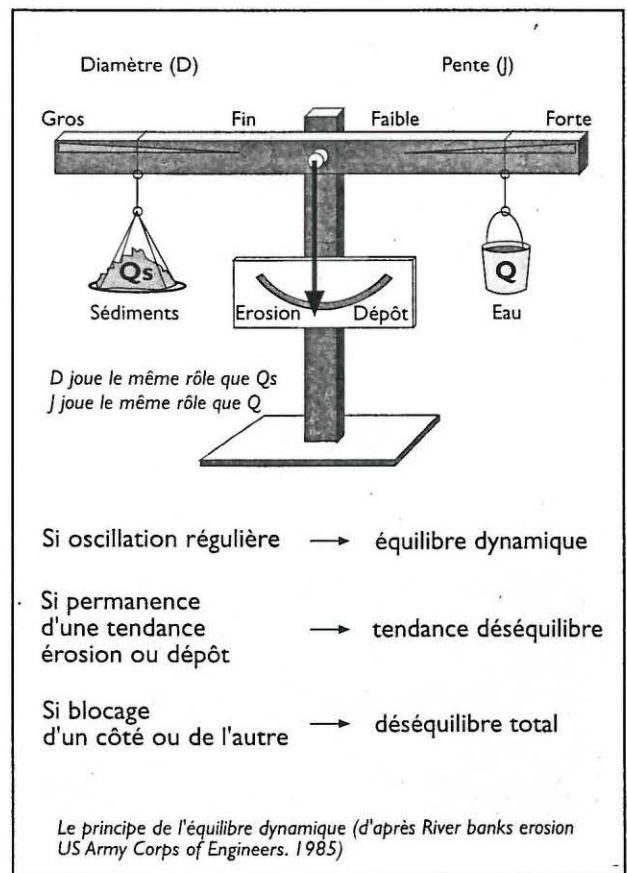


Figure 2

D'autres variables de contrôle interviennent à divers degrés dans la "balance morphodynamique" :

- la pente globale de la vallée,
- les caractéristiques sédimentologiques du lit et des berges, qui conditionnent leur érodabilité au même titre que la végétation des berges.

Enfin, des évènements géologiques (mouvements tectoniques) ou climatiques (variations du niveau des mers) majeurs peuvent aussi influencer sur la morphologie et la dynamique des cours d'eau.

On admet donc que tout cours d'eau naturel va adapter sa morphologie (largeur, profondeur, pente du lit, sinuosité, longueur d'arc des méandres, ...) pour assurer le transit optimal des débits liquides et solides.

On dit alors que **les rivières naturelles sont en "équilibre dynamique" ou en "quasi-équilibre"** (selon l'échelle de temps choisie pour analyser ce phénomène). Elles ajustent continuellement leur forme (largeur, pente, etc.)

au gré des fluctuations naturelles (ou artificielles) des débits liquides et solides.

"Equilibre dynamique" ou "quasi-équilibre" signifie donc non pas absence totale de modification des caractéristiques physiques du cours d'eau mais au contraire ajustement permanent autour de conditions moyennes.

La question fondamentale est alors d'identifier le seuil à partir duquel ces modifications géométriques ne sont plus liées au processus d'équilibre mais deviennent des indicateurs de dysfonctionnements, de dérives du système (ce qui est le cas quand l'aiguille de la balance se bloque durablement d'un coté ou de l'autre de sa position médiane).

Dans la réalité, Q et Qs ne sont pas les seuls paramètres impliqués dans la mise en action des processus d'ajustement. Ainsi toute modification de l'une des variables de réponse, ce qui est généralement le cas dans les aménagements de rivière ou dans les interventions humaines de type extraction, est en théorie susceptible d'entraîner par un processus complexe d'interactions et de rétroactions, une mutation de tout ou partie du système (Bravard et Petts, 1993).

Échelles de temps et équilibre des styles fluviaux

La morphologie d'un cours d'eau (soit en simplifiant, son style fluvial) peut donc varier dans l'espace mais aussi dans le temps en fonction des modifications de Q et Qs.

Si ces modifications sont de faible ampleur (simples oscillations autour de valeurs moyennes), le style fluvial d'équilibre reste sensiblement le même, en tout cas sur le court terme (50 ans, siècle) (figure 3.1).

Si les changements sont durables (tendance à la réduction de la charge solide du fait de changements climatiques majeurs par exemple), le style fluvial peut changer de manière durable aussi et n'évoluer ensuite que faiblement autour d'une nouvelle géométrie moyenne d'équilibre (figure 3.2).

Si le changement est fort mais relativement peu durable, le cours d'eau s'orientera quelque temps vers un nouveau style puis reviendra progressivement à son style antérieur (figure 3.3).

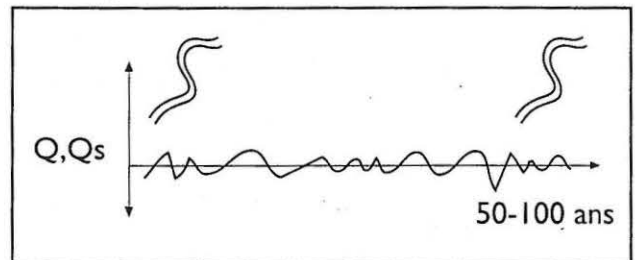


Figure 3.1

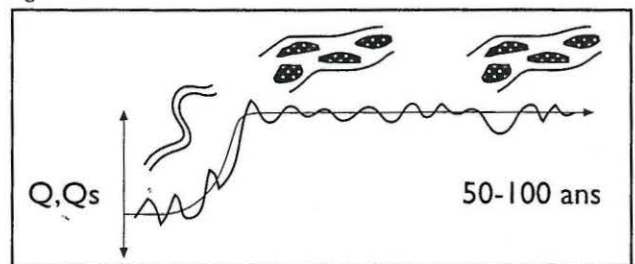


Figure 3.2

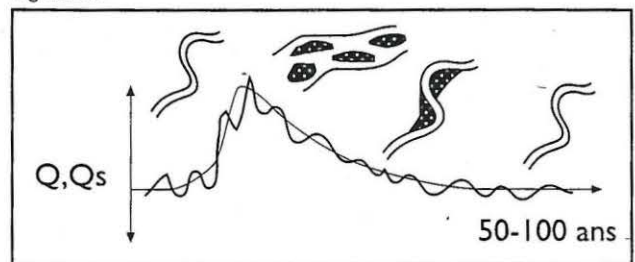


Figure 3.3

Sur le long terme, les modifications et les changements de styles peuvent être assez fréquents, en fonction des fluctuations de Q et Q_s ou de perturbations externes majeures (variation du niveau des mers, mouvements tectoniques, etc.) (figure 3.4).

Ces éléments sont importants à prendre en compte dans le cadre de la définition des espaces de mobilité. En effet, peut-t-on (et doit-on), par

exemple, conserver un style en tresses alors que les apports solides amont (principaux générateurs du tressage) s'amenuisent progressivement pour des raisons naturelles (changement climatique) ou artificielles (boisement des versants). Nous verrons que cette situation semble, en France, assez fréquente sur les cours d'eau en tresses. Le tressage peut alors apparaître comme un style relictuel, en cours d'ajustement et peut-être "en voie de disparition".

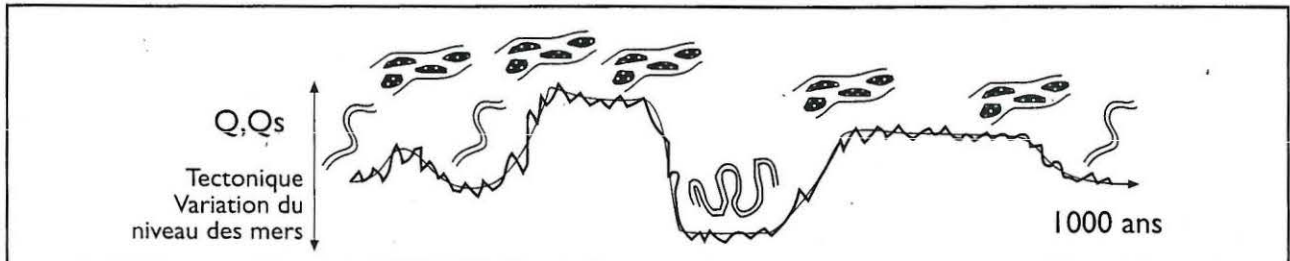


Figure 3.4

d'après Sear (1996)

Dynamique écologique

Les cours d'eau à dynamique active sont caractérisés par une diversité géomorphologique dont le moteur est l'érosion des berges et la migration latérale du chenal vif. En particulier, pour les rivières à méandres, le chenal vif se déplace en érodant sa rive concave et en déposant des sédiments en transit sur sa rive convexe.

Ces processus d'érosion, transport de sédiments, dépôt, recoupement de méandre, ont pour effet de créer, détruire, recréer, à une échelle de temps comprise entre 10 et 100 ans en moyenne (fréquence extrêmement variable selon les cours d'eau), une diversité de milieux dont la grande richesse écologique tient justement à leur fréquence de régénération et à leur assemblage sous forme de mosaïque sur une surface relativement restreinte (parfois seulement quelques milliers de m^2).

En suivant la coupe transversale théorique du lit majeur d'un cours d'eau on observe les deux espaces emboîtés suivants (figure 4) :

- le **lit mineur** : espace fluvial formé d'un chenal unique ou de chenaux multiples et de bancs de sables ou galets, recouvert par les eaux coulant à pleins bords avant débordement (SDAGE RMC).
- le **lit majeur** : espace fluvial plus rarement inondé et où se développe la forêt alluviale des bois durs (frênes, ormes, chênes). Dans ce lit majeur, les sous-systèmes de bras morts, marais, dépressions topographiques, peuvent

présenter une grande diversité d'associations végétales et animales.

Dans les cours d'eau naturels à dynamique active, le remaniement fréquent des sédiments déposés dans ces lits mineur et majeur, l'arrachage régulier des stades végétaux pionniers herbacés ou arbustifs, la grande variabilité saisonnière de la submersion de ces unités, rajeunissent en permanence tant les formes fluviales que les successions végétales qui s'y développent et par conséquent les biocénoses inféodées (oiseaux, insectes, mammifères).

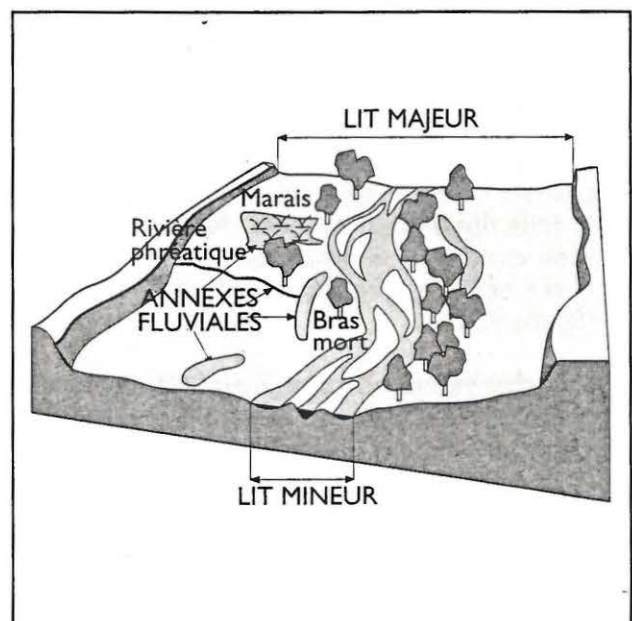


Figure 4



Les cours d'eau sont des systèmes en équilibre dynamique. Leur ajustement permanent, dans l'espace et dans le temps, aux fluctuations des débits liquides et solides, se traduit par une mobilité latérale et verticale. Cette mobilité permet d'éviter des dysfonctionnements hydrauliques et sédimentologiques majeurs. Elle est aussi le moteur d'une dynamique écologique intense, garante de la richesse et de la diversité des milieux naturels.



Vue en plan d'un cours d'eau à dynamique active.
Tracé actuel (photo)
Tracé de 1946 (trame bleue)

Photographie aérienne - Toulon sur Allier
© IGN - Paris 1998 - Autorisation n° 50-8153

B. Les enveloppes de mobilité

La préservation ou la restauration de la mobilité des cours d'eau dans l'espace et dans le temps est un enjeu important pour la gestion globale et équilibrée des hydrosystèmes. Nous présentons donc ci-après les méthodes qui permettront aux divers maîtres d'ouvrage et gestionnaires des cours d'eau, de cartographier les enveloppes spatiales nécessaires au maintien de cet équilibre morphodynamique.

Nous proposons de délimiter **3 espaces emboîtés** :

- **l'espace de mobilité maximal (EMAX)**, correspondant généralement à l'ensemble du fond de vallée constitué de matériaux érodables (dépôts holocènes ou fini-pléistocènes), soit sensiblement l'espace balayé par la rivière à l'échelle des derniers milliers d'années,

- **l'espace de mobilité fonctionnel (EFONC)**, basé sur des critères essentiellement géomorphologiques et sédimentologiques. Les contraintes socio-économiques majeures (zones habitées, grosses infrastructures routières, ouvrages de franchissement) n'y sont pas intégrées, et pourront donc être protégées. Les contraintes socio-économiques secondaires (axes de communication communaux, puits de captages, certaines gravières de volume restreint, habitations isolées) y seront généralement intégrées (déplacement de puits menacés, rachat d'habitations menacées, etc.).

Au sein de cet espace, peuvent être identifiées et cartographiées de manière optionnelle des **zones d'érosion probable à moyen terme** (40-50 ans) (ER50). Ces zones, d'amplitude

généralement limitée, permettent de relativiser la grande superficie apparente des divers espaces cartographiés, qui ne seront mobilisés, même le minimal, que sur plusieurs décennies. Elles peuvent être considérées comme des **zones d'aléa d'érosion**,

- **l'espace minimal (EMIN)**, correspondant à la surface et à l'amplitude indispensables pour ne pas accentuer les dysfonctionnements hydrologiques, sédimentologiques ou écologiques observés. Cet espace est défini comme la restriction locale de l'espace fonctionnel avec un argumentaire adapté.



Deux de ces espaces sont des espaces morphodynamiques " vrais " délimitables sur des bases physiques : l'EMAX (fond de vallée alluvial F_z et F_y sur les cartes géologiques) et l'ER50 (érosion probable, sous-espace de l'EFONC). Les deux autres (EFONC, EMIN), même s'ils sont eux aussi délimités sur des bases géomorphologiques (anciens tracés, amplitude d'équilibre), sont plutôt des concepts de gestion. En effet, ils n'impliquent pas nécessairement une érosion latérale totale à court ou moyen terme mais peuvent être envisagés comme des enveloppes de précaution où les deux contraintes majeures seront : l'absence de protection des berges et de gravières.

C. Choix des méthodes et du niveau de précision : Nécessité d'une pré-étude

Le choix du maître d'ouvrage vis à vis des méthodes de définition de l'espace de mobilité et notamment leur niveau de précision (donc leur coût), peut être guidé par le type de cours d'eau étudié, son niveau d'artificialisation, les enjeux socio-économiques actuels et futurs et la demande sociale. Ce choix nécessitera probablement une **pré-étude** qui devra

comprendre : une **approche typologique**, un **diagnostic de l'état d'artificialisation** du cours d'eau (notamment niveau d'incision, état de la nappe phréatique alluviale, état des écosystèmes du lit mineur et majeur), un **pré-diagnostic des enjeux socio-économiques** qui sera affiné dans l'étude principale (type d'occupation du lit majeur, valeur foncière, etc.)

Approche typologique

Le type de cours d'eau est une des clefs majeures de détermination du type d'analyse à mener et du niveau de précision souhaitable. Il semble en effet important de **n'appliquer le concept d'espace de mobilité qu'aux rivières**

mobiles à notre échelle de temps (ou potentiellement mobiles si elles sont aménagées). Il pourra en effet paraître inutile, ou trop dogmatique, de vouloir l'appliquer à tout prix sur tous les cours d'eau.



Cette remarque n'exclut pas la possibilité de définir d'autres enveloppes de préservation, non mobilisables par le cours d'eau, mais qui peuvent présenter d'autres enjeux et que l'on nommera zones tampons. On peut ainsi déterminer des zones tampons hydrologiques (pour garantir l'écroulement des crues), des zones tampons écologiques (pour conserver des milieux humides annexes), des zones tampons physico-chimiques (ripisylve de 15 à 20 m de large pour permettre le piègeage des nutriments), etc. La méthode de définition de ces autres types d'enveloppes n'entre pas dans le cadre de ce guide.

Style fluvial

Les rivières rectilignes, sinueuses, à méandres, en tresses, ne présentent pas les mêmes processus d'ajustement morphodynamiques. Elles n'auront donc pas les mêmes "besoins" d'espace de mobilité. Ce premier niveau typologique est donc indispensable. Il n'est pas suffisant car, par exemple, certains cours d'eau à méandres sont très dynamiques en plan, alors que d'autres n'évoluent que très modérément à notre échelle de temps.

Un indice intéressant, rapide à identifier sur carte au 1/25 000 et relativement fiable, est la position du lit actuel par rapport aux tracés des limites administratives (département, arrondissement, canton, commune). Ces limites ont souvent été positionnées au milieu des lits des cours d'eau, pour l'essentiel peu après la révolution française (1790 à 1800). Le décalage du cours d'eau actuel par rapport à ces limites est donc un indice de l'activité fluviale depuis 200 ans. Mais cette approche n'est valable que pour les cours d'eau de largeur supérieure à 20-30 m, valeur en dessous de laquelle l'IGN décale le tracé du cours d'eau, ou des limites administratives, pour que les deux soient visibles.

Intensité des processus morphodynamiques

La puissance spécifique $[(\text{pente} \times \text{débit}) / \text{largeur}]$ est un paramètre souvent explicatif du style fluvial et de la vitesse des processus morphodynamiques. Elle constitue un critère typologique majeur. Les caractéristiques sédimentologiques du lit et des berges ainsi que la vitesse des processus d'incision et d'érosion latérale, si elles peuvent être calculées rapidement, devront être intégrées à cette approche des processus morphodynamiques.



Etat du cours d'eau

Le niveau de précision et les moyens financiers à mettre en oeuvre pour la détermination de l'espace de liberté devront être adaptés à l'état d'artificialisation du cours d'eau et de son espace de liberté.

Trois types d'analyses sont à réaliser.

Evaluation de l'incision du lit et de son influence sur la nappe alluviale et les milieux naturels

Il s'agira d'évaluer si le lit a subi une incision importante, soit du fait de gravières ou curages en lit mineur, soit du fait du piégeage de la charge

solide par un ouvrage transversal situé en amont, soit suite à des rectifications importantes du tracé. Les effets de cette incision sur le niveau de la nappe alluviale et le risque de baisse de productivité des captages seront estimés. Sera aussi réalisée une évaluation des impacts de cette incision sur le fonctionnement des milieux naturels des lits mineur et majeur (dépérissement de la forêt alluviale, assèchement des annexes hydrauliques, etc.).

Evaluation du niveau d'artificialisation

Une évaluation sommaire de la densité kilométrique des aménagements sera effectuée.

L'accent sera mis sur :

- les aménagements bloquant la dynamique fluviale (protections de berges, digues), les aménagements ayant modifié la géométrie en plan, en long et en travers (rectifications, reprofilages, recalibrages, ...)
- les ouvrages transversaux bloquant la dynamique latérale et le transit de la charge de fond (seuils, barrages).

Evaluation de la qualité écologique et paysagère

Une évaluation de l'état de la qualité écologique et paysagère sera effectuée sur la base des documents existants (ZNIEFF, etc.) ou d'une expertise rapide.

Conclusion sur le niveau d'artificialisation et sectorisation

Nous noterons que différents états d'artificialisation peuvent s'observer sur un même

cours d'eau. Une phase de sectorisation sera donc nécessaire pour quantifier le linéaire correspondant à ces différents états.

En conclusion de cette phase, différents types d'enjeux pourront être identifiés, par tronçons homogènes, qui conduiront au choix des étapes à suivre pour réaliser la délimitation de l'espace de mobilité (cf. grille de choix en page 32) :

- si le cours d'eau est encore proche d'un fonctionnement naturel, l'analyse aura pour objet de proposer des principes de **préservation de l'espace de liberté**,
- sur un cours d'eau canalisé, incisé, rectifié, endigué, il s'agira de proposer des principes de **restauration**,
- entre ces deux extrêmes pourront être proposés des principes d'**amélioration**.

Pour ces 3 états, les approches seront assez semblables pour ce qui concerne les aspects physiques de la détermination de l'espace de liberté. Elles seront probablement très différentes au niveau des aspects socio-économiques et au niveau des moyens de sensibilisation et de communication à mettre en œuvre.

Enjeux socio-économiques

De même, les enjeux socio-économiques de l'espace de mobilité justifieront le niveau de précision de l'analyse.

Si le cours d'eau nécessite des mesures d'urgence (pour stopper l'incision par exemple et remonter le niveau des nappes alluviales), on pourra travailler en deux temps :

- détermination d'un espace de mobilité fonctionnel "d'urgence" qui relèvera du principe de précaution,

- révision/amélioration de la cartographie sur un délai plus long et avec des méthodes d'investigation plus fines.

Si l'urgence est moins nette ou les enjeux moins directement quantifiables, un moindre niveau de précision suffira pour délimiter l'un ou l'autre des espaces emboîtés.



Les différents niveaux d'analyse qui sont présentés ci-après ne seront pas tous nécessaires pour définir un espace de mobilité. La grille présentée en fin de document donnera aux maîtres d'ouvrage et aux services techniques de l'Etat ou des collectivités locales, quelques éléments de choix des niveaux d'investigation nécessaires en fonction des enjeux identifiés lors de la phase de pré-étude.

DELIMITATION DES ESPACES DE MOBILITE

La délimitation et la cartographie des 3 espaces emboîtés, qui seront les documents soumis à concertation, nécessitera plusieurs étapes et sous-étapes dont certaines sont optionnelles (cf. grille d'aide au choix des méthodes au paragraphe D du présent chapitre). Nous présentons ci-après l'ensemble des étapes à mettre en oeuvre dans le cadre d'un choix d'analyse maximaliste.

A. ETAPE I : Délimitation de l'espace de mobilité maximal (EMAX)

Cette première enveloppe, la plus vaste et la plus externe, doit permettre de relativiser les processus actuels d'érosion latérale par rapport à leur intensité au cours des derniers milliers d'années. Cette enveloppe, qui n'est pas entièrement mobilisable par le cours d'eau à notre échelle de temps, pourrait se rapprocher

du concept d'espace de mobilité idéal, dans la mesure où, si on laisse au cours d'eau l'ensemble de cet espace, il disposera de toute la gamme des paramètres d'ajustement morphodynamique à long terme : amplitude du champ de méandrage pour ajuster sa pente, ensemble du stock alluvial pour ajuster sa charge solide.

Concepts

Cet espace maximal correspond sensiblement au corps sédimentaire à matériel grossier mis en place à la fin de la glaciation du Würm (-12 000 ans) dans les fonds de vallée et

potentiellement mobilisable par les cours d'eau actuels. Cette mobilisation dépend de la granulométrie des sédiments et de leur distance par rapport au chenal vif actuel.

Grandes vallées sédimentaires

Dans les grandes vallées du Bassin Parisien (Aube, Seine, Marne, Oise), dans le Val de Loire en aval de Roanne, dans la vallée du Rhône (à l'aval du confluent de l'Ain), les accumulations fluviales de la dernière période froide ont formé une basse terrasse à matériel grossier d'origine périglaciaire. L'espace de divagation maximal théorique est la plaine alluviale à l'échelle de temps géologique (15 000 ans). L'espace actuel est la plaine dans sa quasi-totalité (mis à part les basses terrasses). En revanche, l'espace de divagation historique, que nous utiliserons pour la définition d'EFONC et EMIN, est une étroite bande de méandrage (ou tressage) établie dans l'axe du chenal principal actuel.

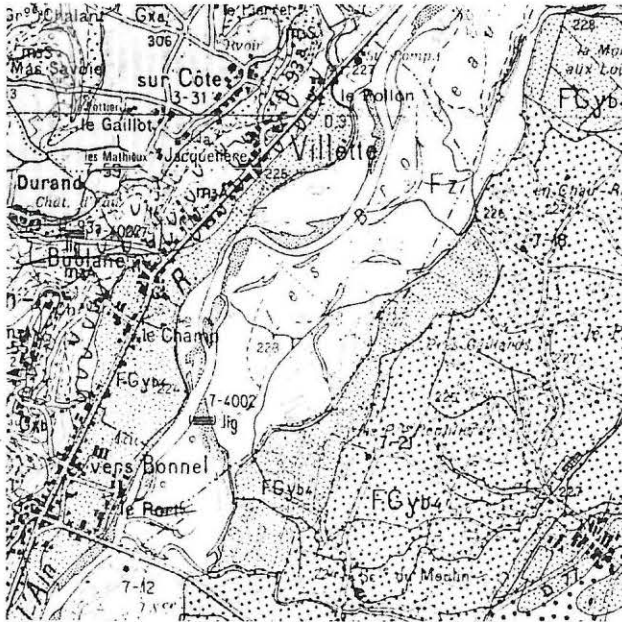
Vallées de piedmont

Dans les vallées de piedmont à construction fluvio-glaciaires (Alpes, Pyrénées), l'incision dans les nappes d'accumulation würmiennes s'est faite à la fin du Würm (elle est acquise vers -12 000 ans) et les fluctuations hydro-climatiques qui concernent le Dryas récent et l'Holocène ont eu la possibilité de faire fluctuer l'altitude du talweg. Il en résulte la formation de basses terrasses qui, par leur altitude relative, influencent l'extension actuelle des zones inondables.

DATATIONS (Dates C14)		CADRE CHRONOLOGIQUE							
B.C. avant J.C.	B.P. avant le présent (1950)	HOLOCENE		EUROPE OCCIDENTALE	EUROPE DU NORD OUEST				
3000	5000	HOLOCENE	POSTGLACIAIRE		ATLANTIQUE				
4000	6000				7500				
5000	7000				BOREAL				
6000	8000				8800				
7000	9000				PREBOREAL				
8000	10000				10200				
9000	11000				10800				
10000	12000				11800				
11000	13000				12300				
12000	14000				13250				
13000	15000	WÜRMIENNE	WÜRMIENNE		DRYAS RECENT				
14000	16000				ALLEROD				
15000	17000				DRYAS ANCIEN				
16000	18000				BOLLING				
17000	19000				DRYAS I sup.				
18000	20000				PRE-BOLLING				
19000	21000				DRYAS I inf.				
20000	22000				ANGLES				
21000	23000				LASCAUX				
22000	24000				III-IV				
23000	25000	PLEISTOCENE SUPERIEUR	WÜRMIENNE		LAUGERIE				
24000	26000				maximum de froid du Würm				
25000	27000				TURSAC				
26000	28000				WEICHSELIEN RECENT				
27000	29000							KESSELT	
28000	30000								DENEKAMP
29000	31000								
30000	32000								
31000	33000								
32000	34000								
33000	35000	II-III							
34000	36000	LES COTTES							
35000	37000	WÜRMIENNE							
36000	38000				HENGELO				
37000	39000								
38000	40000								

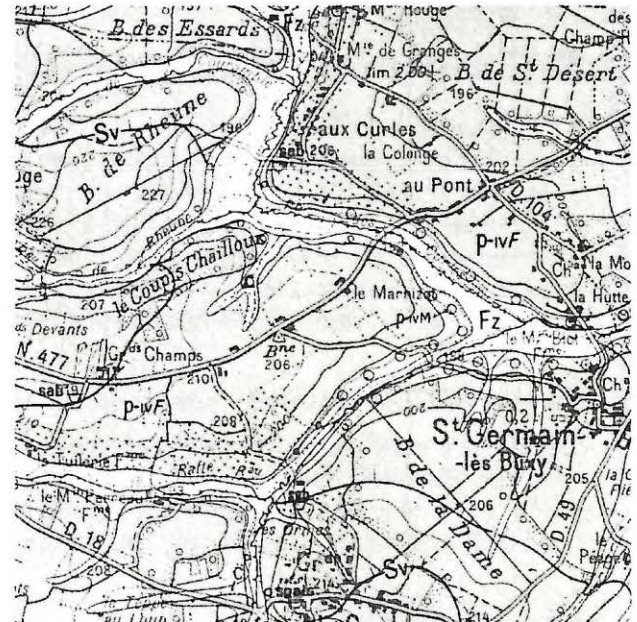
La divagation holocène a pu s'exprimer sur la totalité ou la quasi-totalité des fonds de vallée. Ceux-ci sont relativement étroits, en forte pente ; l'hydrologie est caractérisée par des régimes irréguliers, de sorte que la puissance des cours d'eau (en générale supérieure à 100 Watts/m²) permet un transport actif et un balayage de l'espace (rivières comme la Drôme, la basse vallée de l'Ain, l'Allier supérieur et moyen, etc.).

L'espace de divagation maximale potentielle s'y confond avec l'espace occupé par les alluvions "modernes" à une échelle de temps multi-séculaire. Il est donc pertinent d'englober la plaine alluviale dans l'espace de divagation potentielle à l'échelle de l'Holocène récent. Le cas extrême est constitué par les rivières montagnardes où la quasi-totalité de l'espace de fond de vallée a en général été remanié à l'époque historique.



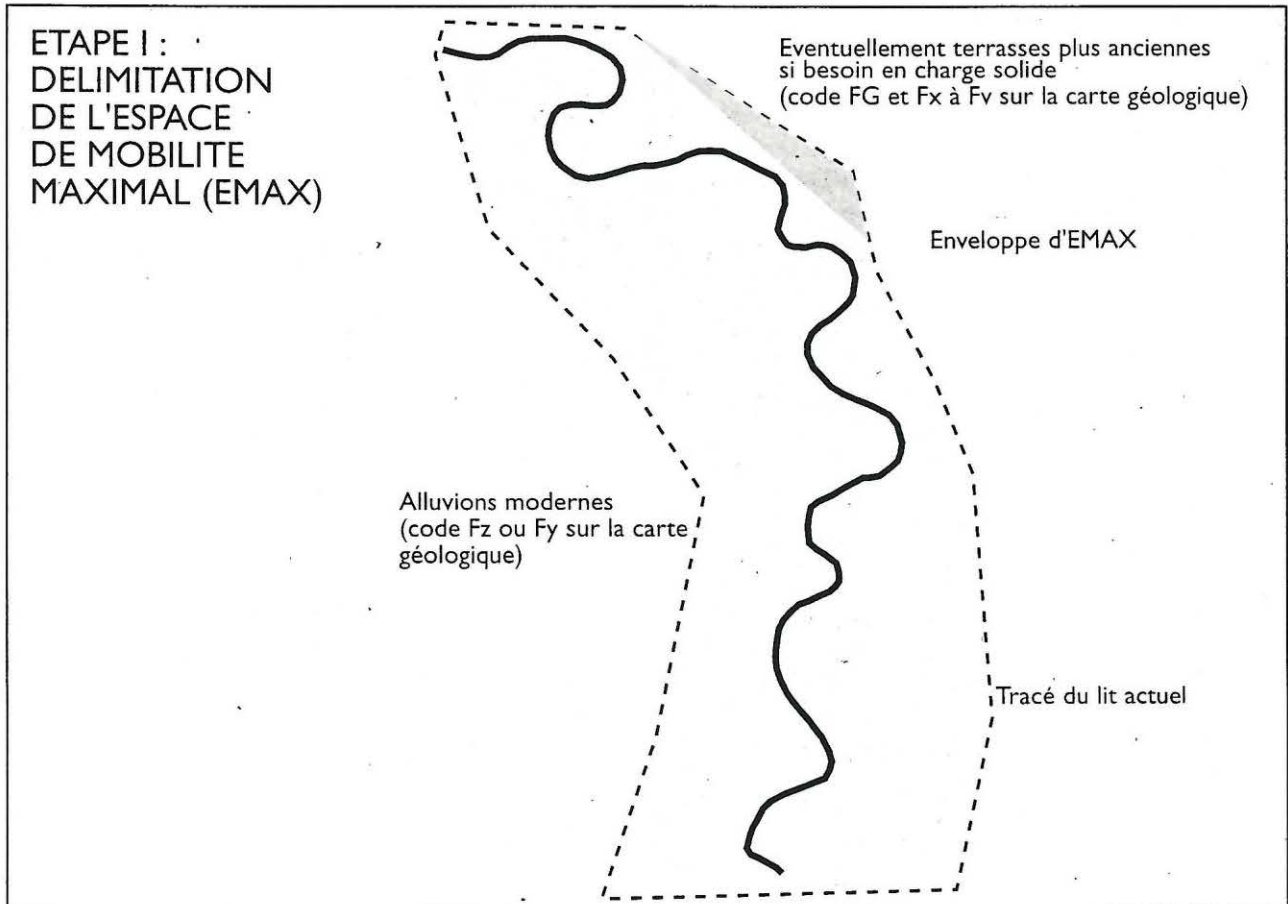
Exemple d'un grand cours d'eau : l'Aine

© BRGM 1987 - Extrait de la carte géologique de la France à 1/50 000. Feuille 675, Ambérieu-en-Bugey.



Exemple d'un petit cours d'eau : la Corne

© BRGM 1982 - Extrait de la carte géologique de la France à 1/50 000. Feuille 579, Chalon-sur-Saône.



En complément, il faut tenir compte des **terrasses** plus anciennes (FG, Fx à Fv) qui peuvent fournir des matériaux au cours d'eau lorsque l'espace de divagation est en marge de la plaine alluviale. On est en général hors de l'espace de divagation maximale mais, ponctuellement, **une érosion des terrasses**

peut se produire et fournir un bon potentiel de recharge sédimentaire lorsque le cours d'eau connaît un déficit de charge. Dans certains cas, si le cours d'eau connaît un déficit de charge, on pourra donc lui laisser la possibilité de conquérir une partie de cet espace.

Méthode de définition

La méthode la plus simple consiste à se référer aux cartes géologiques à grande échelle (1 : 50 000 et 1 : 80 000) et à prendre comme **enveloppe externe de l'EMAX** les limites des **alluvions modernes** (couches Fz et Fy des cartes géologiques). On pourra intégrer au cas par cas dans l'EMAX (voire dans l'EFONC) les terrasses plus anciennes si l'enjeu de recharge sédimentologique en aval est important.

Pour compléter l'enveloppe externe de l'EMAX, les limites de la zone inondable pour la crue centennale, si elles existent, peuvent être utilisées, étant admis que l'EMAX sera au moins égal à cette enveloppe d'inondation. D'une manière générale, il est en effet probable que les limites des alluvions Fz ou Fy soient externes à celles de la crue centennale.



L'EMAX délimite l'espace balayé par le cours d'eau à l'échelle des derniers milliers d'années. Il n'est pas exclu que les processus actuels d'érosion latérale se propagent au-delà, vers des terrasses plus anciennes, voire dans des formations géologiques meubles (sables tertiaires, conglomérats peu cimentés, etc.).

B. ETAPE II :

Délimitation de l'espace de mobilité fonctionnel (EFONC)

Il s'agit de l'espace le plus complexe à délimiter. Sa définition et sa cartographie peuvent être réalisées en 6 sous-étapes dont certaines sont optionnelles (choix effectué lors de la pré-étude) :

- deux sous-étapes basées sur des considérations essentiellement géomorphologiques et sédimentologiques, abstraction faite de l'anthropisation du milieu :

1- approche par le concept d'amplitude d'équilibre,

2- approche par la capacité de transport ;

- deux sous-étapes géomorphologiques, qui font intervenir (au moins en partie) l'état d'anthropisation du milieu :

3- approche géomorphologique de l'évolution historique,

4- approche prévisionnelle des zones érodables à 50 ans ;

- une sous-étape de synthèse :

5- le résultat croisé des approches précédentes permettra de constituer l'enveloppe externe de l'espace de mobilité fonctionnel. Cette étape sera complétée par un diagnostic de la qualité écologique des milieux inclus dans cette enveloppe (qualité actuelle et potentielle) ;

- une dernière sous-étape basée sur des considérations socio-économiques :

6- approche socio-économique. Cette dernière approche viendra retoucher l'enveloppe externe précédente en excluant les contraintes anthropiques majeures.



Cet espace de mobilité fonctionnel constituera l'espace de liberté au sens des préconisations du SDAGE Rhône-Méditerranée-Corse. L'espace de mobilité minimal (EMIN, cf. p.29) sera délimité par des retouches ponctuelles de cet espace fonctionnel.

— Sous-étape II.1 :

Approche par le concept d'amplitude d'équilibre —

Le premier niveau d'analyse, basé sur des considérations essentiellement d'ordre mécanique, nous oblige à aborder les notions de géométrie et de tracé en plan d'équilibre.

Il convient à ce niveau, de distinguer le fonctionnement des rivières à méandres de celui, moins bien connu, des rivières en tresses.

Les rivières à méandres : concepts

Un certain nombre de chercheurs, tant hydrauliciens que géomorphologues, ont cherché depuis plus de 50 ans, à établir des relations entre divers paramètres géométriques du cours d'eau et d'autres variables, afin d'approcher la géométrie d'équilibre dynamique des lits fluviaux.

Parmi ces relations, établies à partir de données recueillies soit sur cours d'eau naturels, soit sur modèles réduits, nous avons retenu celles concernant les deux paramètres qui peuvent nous aider à définir l'espace de mobilité :

- la longueur d'onde des sinuosités,
- et surtout, leur **amplitude**, que l'on assimilera à l'espace de mobilité d'équilibre.

Les variables connues sont :

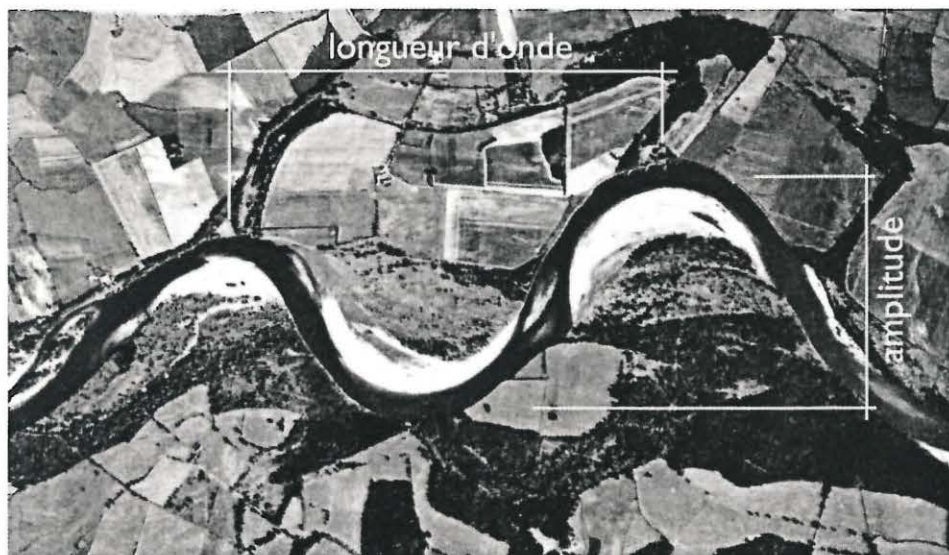
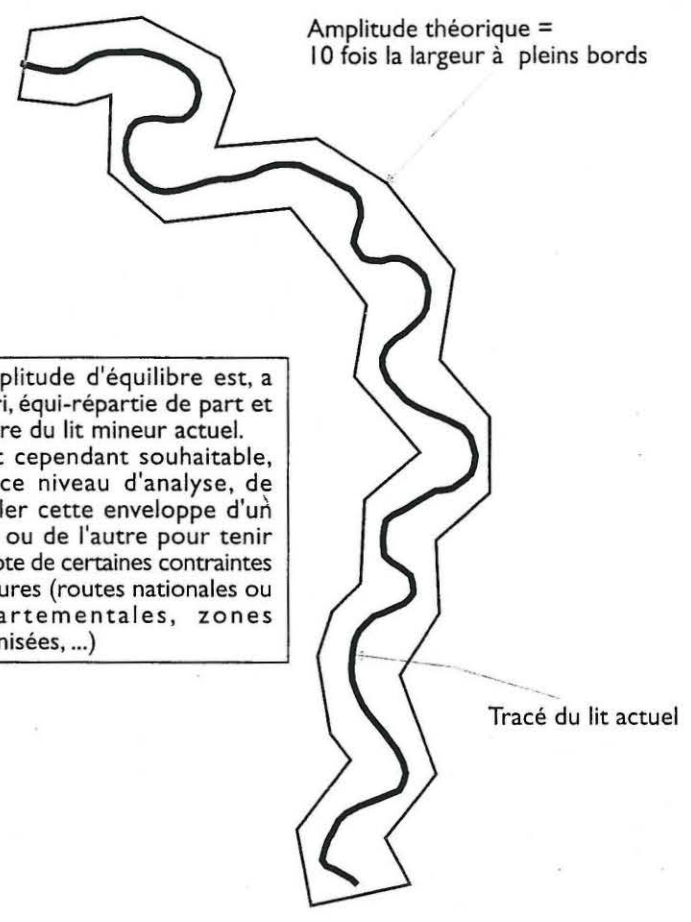
- le débit dominant (ou débit de pleins bords, sensiblement égal à la crue journalière de fréquence biennale),
- la largeur à pleins bords.

La photo ci-contre présente le principe de mesure de ces paramètres.

ETAPE II :
DELIMITATION
DE L'ESPACE DE MOBILITE
FONCTIONNEL (EFONC)

Sous-étape II.1 :
Délimitation
de l'amplitude d'équilibre

L'amplitude d'équilibre est, a priori, équi-répartie de part et d'autre du lit mineur actuel. Il est cependant souhaitable, dès ce niveau d'analyse, de décaler cette enveloppe d'un côté ou de l'autre pour tenir compte de certaines contraintes majeures (routes nationales ou départementales, zones urbanisées, ...)



Photographie aérienne - Décize
© IGN - Paris 1998 - Autorisation n° 50-8153

Les rivières à méandres : méthode

Les données de la littérature (cf. annexe 1), complétées par des exemples français, montrent que l'amplitude des méandres est comprise entre

4 et 18 fois la largeur à pleins bords du cours d'eau, la moyenne des valeurs se situant à 8,5 fois cette largeur.



Pour simplifier l'analyse et par principe de précaution, nous retiendrons comme valeur théorique de l'amplitude d'équilibre :

Amplitude d'équilibre (A) = 10 fois la largeur du lit à pleins bords (w)

Il est admis que la largeur à pleins bords servant de base de calcul est elle-même naturelle et correspond à la largeur d'équilibre. Il n'est cependant pas toujours simple de déterminer la largeur naturelle du cours d'eau.

Dans le cas où les largeurs ne sont manifestement pas naturelles (secteurs recalibrés par exemple), il est possible de faire appel aux **équations dites de "régime"** présentées en annexe. Ces équations relient généralement la largeur à pleins bords à la racine carrée du débit de pleins bords.

En prenant comme débit de pleins bords (Q_{pb}) le débit de crue journalière de fréquence biennale, on peut utiliser les relations de Hey (1982) :

Pourcentage de végétation sur les berges	w = largeur à pleins bords en m
0% (arbres ou arbustes)	$w = 4,33Q_{pb}^{0,5}$
1-5%	$w = 3,33Q_{pb}^{0,5}$
5-50%	$w = 2,73Q_{pb}^{0,5}$
50%	$w = 2,34Q_{pb}^{0,5}$

Ce premier niveau de définition de l'amplitude d'équilibre doit être affiné en tenant compte des résultats de l'analyse morphologique globale.

C'est ainsi que sur l'Allier, l'**analyse de l'ensemble des sinuosités actuelles** (parfois contraintes mais souvent "libres") donne un ratio A/w compris entre 3 et 8 avec une moyenne de 5. Ces valeurs, correspondant à la moitié des valeurs moyennes théoriques, sont probablement liées au fait que l'Allier est une rivière en cours d'ajustement (il était fréquemment en tresses au milieu du 19^e siècle). L'amplitude d'équilibre n'est donc pas encore atteinte.

L'enveloppe d'amplitude minimale d'équilibre sera tracée en prenant en compte les contraintes anthropiques majeures qui ne peuvent être intégrées à l'espace de mobilité (routes nationales et départementales, voies ferrées etc. Voir sous-étape II.6). Si une telle contrainte non déplaçable existe dans la zone potentiellement mobilisable par le cours d'eau, l'enveloppe correspondant à 10 fois la largeur sera décalée d'un côté ou de l'autre du lit actif. Elle ne doit pas a priori dépasser les limites de l'EMAX.

Les rivières en tresses : concepts

Le cas des rivières en tresses est plus complexe que celui des rivières à méandres et il n'existe que peu de relations (notamment pas d'équations dites "de régime") ou de données empiriques permettant d'établir des valeurs d'espace de mobilité fonctionnel sur le même principe que l'amplitude d'équilibre des méandres.

Rappels sur les caractéristiques générales du tressage

Les rivières en tresses sont relativement peu fréquentes en France (comparativement aux rivières à chenal unique) et se développent surtout dans les secteurs montagnards et pérимontagnards à forts apports solides et à pente moyenne à forte.

Elles sont caractérisées par des **chenaux multiples divergents et convergents** qui sont modifiés en plan et en taille à chaque crue importante. Lorsqu'un lit est comblé par apports de sédiments, un autre lit est creusé à proximité.

Le trait complémentaire le plus caractéristique de ces cours d'eau est la présence de nombreux bancs et îles occupant l'ensemble du lit mineur. Les bancs sont généralement peu végétalisés puisque toute végétation naissante dans la bande de tressage (lit mineur) est arrachée par la crue annuelle ou biennale suivante ce qui permet un rajeunissement fréquent de la végétation alluviale.

Cependant, si le cours d'eau ne connaît pas de crue importante pendant au moins 5 ans, la végétation alluviale peut développer un système racinaire qui lui permet de mieux résister à l'arrachement, jusqu'à une crue de fréquence rare dont l'énergie permettra le déracinement. Pendant cet intervalle de temps, la végétalisation importante de certains bancs, notamment sur les marges du lit (forêt alluviale du lit mineur), permet le piégeage de matériaux plus fins.

D'un point de vue géométrique, on observe que le rapport largeur/profondeur est généralement élevé (100 et plus) ainsi que la pente. Le lit mineur est souvent rectiligne mais les chenaux individuels peuvent être plus ou moins sinueux. Ces lits sont fréquemment situés à différents niveaux sur une section, depuis le chenal principal, le plus bas jusqu'aux chenaux anciens, éloignés du lit principal et mis en eau pour des débits plus élevés. Ces anciens chenaux peuvent être réactivés à l'occasion des crues, voire devenir des chenaux principaux.

Genèse du tressage

Les conditions de développement et de maintien du tressage sont en partie identifiées mais font encore l'objet de nombreuses études scientifiques.

Nous expliciterons ici les points qui semblent faire l'unanimité ou qui sont acceptés par une majorité de chercheurs (synthèse de Knighton, 1984).

• Une charge de fond abondante et grossière

Bien que l'on suppose que le tressage ne soit pas symptomatique d'une "surcharge" alluviale, la disponibilité d'une forte masse de sédiments pour le transport semble nécessaire.

Par contre, et c'est une condition essentielle, cette charge de fond doit contenir des fractions granulométriques que la rivière n'a, localement au moins, pas la force de transporter.

Ce sont en effet les fractions grossières qui initient les premiers dépôts et qui conduisent peu à peu au tressage complet par progression du phénomène vers l'aval. La concentration de ces dépôts sous forme de bancs médians favorise la divergence des écoulements vers l'extérieur du lit, l'érosion des berges et l'élargissement progressif du lit mineur.

• Des berges facilement érodables

Les berges composées de matériau facile à éroder et à transporter sont une source importante de sédiments. Elles sont aussi une **condition essentielle de développement du tressage** dont on a vu qu'il était caractérisé par un lit large et peu profond (fort rapport largeur/profondeur). La probabilité d'occurrence de zones de dépôt ponctuel de la charge solide est plus élevée dans un lit mineur large que dans un lit étroit.

Si les berges sont très cohésives, les dépôts occasionnels qui peuvent se produire, à la suite des variations des conditions d'écoulement sont rapidement arrachés et transportés plus loin par des petites crues ce qui ne permet pas leur croissance et le dépôt des apports supplémentaires.

• Un débit très variable

Des fluctuations rapides de débit sont souvent associées à de forts taux d'apports solides. Elles contribuent à l'érosion des berges et à des mouvements irréguliers de la charge solide (vagues sédimentaires) qui conduisent à la formation des bancs (macroformes) et des mégaformes, vastes zones de dépôt temporaire de la charge alluviale en transit.

Cette variabilité de débit n'est cependant pas un paramètre essentiel du tressage car ce style morphologique a pu être reproduit en laboratoire sous des conditions de débit relativement stables.

• Une forte puissance

Une forte pente est considérée comme un paramètre essentiel du tressage mais le véritable facteur semble être en réalité la puissance du cours d'eau rapportée à la granulométrie des sédiments du lit (Richard, 1982). En effet le tressage peut se développer sur des pentes faibles mais à fort débit de pleins bords et à granulométrie fine.

La **puissance** est calculée comme suit :

$$\Omega = \gamma Q J \text{ en W/m}$$
 où γ est le poids volumique de l'eau (N/m^3), Q le débit de pleins bords (m^3/s), J la pente du lit (m/m).

On utilise parfois aussi la **puissance spécifique** :
 $\omega = \Omega/w$ en W/m^2
 où w est la largeur du cours d'eau (m) pour un débit de pleins bords.

En termes de puissance spécifique, le seuil critique entre tressage/méandrage serait de l'ordre de 150 à $200 W/m^2$ (Ferguson, 1984), ce seuil critique étant fortement variable en fonction de l'érodabilité des berges.



Aucune des 4 conditions présentées ci-avant ne semble suffisante pour permettre à elle seule le tressage. Mais une charge de fond abondante et de granulométrie proche de la limite de capacité de transport du cours d'eau, des berges faciles à éroder et une forte puissance sont vraisemblablement nécessaires. Par contre, quand ces 4 conditions sont remplies, le tressage devient le modèle dominant.

• Evolution du tressage

Des modifications du tressage peuvent être liées à des variations de l'un ou plusieurs des paramètres de contrôle sus-décrits (cf. figure 1). La modification des apports solides est celle qui donne les résultats les plus spectaculaires. Si ces apports sont réduits pour n'importe quelle raison, on observe, à plus ou moins brève échéance, des modifications importantes des caractéristiques morphologiques.

Le processus le plus fréquent est sans conteste l'enfoncement du lit dans ses anciennes alluvions de tressage, accompagné parfois d'érosions latérales. L'absence de crue pendant de longues années peut aussi favoriser le développement de la végétation sur les bancs qui ont tendance à se stabiliser, ce qui accentue encore les phénomènes

d'enfoncement des chenaux, ceux-ci ne pouvant plus mobiliser les stocks alluviaux ainsi protégés ni maintenir leur géométrie en travers (notamment un fort rapport largeur/profondeur).

Le changement morphologique des rivières en tresses par régulation ou réduction de la charge solide est un phénomène très largement répandu. Ce changement est rarement abrupt mais passe par des phases de modification progressive pour arriver au style sinueux voire méandrique. Généralement, le chenal principal commence à devenir sinueux et augmente de plus en plus sa capacité par enfoncement et assèchement progressif des bras secondaires. Les chenaux secondaires ont tendance à s'assécher et à se combler par des fines.

Les rivières en tresses : méthode

Le tressage reste un phénomène dont les processus de fonctionnement et de maintien ne sont encore pas complètement identifiés. Cela implique une **grande difficulté pour établir, voire même conceptualiser, l'espace de mobilité en tant qu'amplitude minimale.**

Certains auteurs pensent que le tressage n'est pas un style fluvial d'équilibre, d'où l'impossibilité de raisonner en termes de "régime" et de produire des équations du type de celles proposées par de nombreux auteurs pour les rivières à lit unique

où la largeur à pleins bords pourrait être déterminée en fonction du débit dominant.

Le tressage étant un style fluvial présentant malgré tout une dynamique et un fonctionnement écologique particulier, il convient de proposer une évaluation de l'espace de mobilité qui lui est nécessaire pour conserver ce type de fonctionnement. Le chargé d'étude basera donc son évaluation de l'amplitude d'équilibre sur le contour de l'amplitude historique mesuré dans les secteurs non contraints artificiellement.

Sous-étape II.2 : Approche par la capacité de transport

Concepts

L'objet de cette approche est **double** :

- **délimiter et cartographier les surfaces (et donc les volumes) nécessaires pour fournir une certaine quantité de charge solide au cours d'eau**, sur une période donnée. Ceci présente surtout un intérêt pour les cas où un déficit de charge solide est avéré ou ceux où une recharge alluviale est nécessaire pour enrayer ou inverser les processus d'incision du lit.
- **identifier les gravières en lit majeur qui pourront être intégrées à l'EFONC et celles qui devront en être exclues** si leur volume dépasse notablement le volume théorique transporté par le cours d'eau. Ces dernières risqueraient, en effet, de piéger la charge solide et de générer un processus d'érosion progressive.

Méthodes



RAPPEL : Le calcul de la capacité de transport d'un cours d'eau permet de connaître, non la charge transportée, mais celle que sa géométrie lui donne la capacité de transporter.

Granulométrie du lit

Le lit des **cours d'eau à fond graveleux** se caractérise en général par la formation d'une **armure de surface liée au tri granulométrique par le courant**. Cette armure nous oblige à considérer la granulométrie du lit sous deux angles :

- la granulométrie de la **couche d'armure**,
- la granulométrie de la **sous-couche**.

L'armure est liée à un phénomène de tri granulométrique qui concentre en surface les éléments les plus grossiers de l'ensemble du spectre granulométrique transporté. Cette armure est généralement détruite et remaniée à l'occasion des crues morphogènes. Le pavage est lié au même phénomène de tri mais poussé à son extrême. Il peut avoir plusieurs origines.

De nombreuses études indiquent que la granulométrie de la **sous-couche** est plus fine que celle de la couche. La sous-couche peut alors être considérée comme représentative de la "vraie" fraction granulométrique charriée par le cours d'eau.

Pour les rivières à fond sableux, ce phénomène d'armure, même s'il existe (il y a toujours une fraction plus grossière en surface) semble moins important en terme d'erreur de calcul de la capacité de charriage.

Formules de calcul

Compte tenu de ce phénomène d'armure, il est nécessaire de travailler sur deux concepts de transport solide :

- la **capacité de charriage** du lit du cours d'eau en fonction de sa géométrie actuelle. Ce concept est basé sur le fait qu'un cours d'eau peut transporter une certaine charge solide sans qu'il y ait nécessairement production par le fond du lit lui-même. Utilisé sur la Loire (Epteau/Horizons, 1997), ce concept est tout à fait défendable dans la mesure où, pour de nombreux cours d'eau, une grande partie de

la charge solide grossière actuelle provient de l'érosion des berges,

- la **capacité de rupture de l'armure**, qui indique à partir de quel débit le transport solide est alimenté par le fond en plus des apports amont ou latéraux.

La capacité de charriage est généralement calculée au moyen de la formule de Meyer-Peter-Müller, au droit d'un certain nombre de sections représentatives des différents tronçons de la zone d'étude.

Formule de Meyer-Peter-Müller

$$Q_s = 45 D_{550}^{3/2} [\alpha \tau^*(D_{550}) - 0,047]^{3/2} w$$

où :

Q_s (m^3/s) est le débit solide de matériaux que le courant est capable de transporter,

D_{550} le diamètre médian de la sous-couche (m),

α un coefficient minorateur de $\tau^*(D_{550})$ lié à la formation de dunes au cours du transport solide

[$\alpha = (K/K_r)^{3/2}$ avec K coefficient de rugosité de Strickler et $K_r = 21,1/D_{550}^{1/6}$ rugosité du grain],

$\tau^*(D_{550})$, la contrainte de Shields du grain

[$\tau^*(D_{550}) = \rho g J H / g(\rho_s - \rho) D_{550}$ avec J = pente en m/m, H = tirant d'eau en m, g l'accélération due à la pesanteur, ρ_s la masse volumique des matériaux, ρ la masse volumique de l'eau],

w la largeur du lit (m).

Le débit de rupture de l'armure peut être évalué à partir de la formule de Knighton.

Formule de Knighton

$$\tau_{crD50} = 0,06 g(\rho_s - \rho) D_{50}$$

où τ_{crD50} est la contrainte de cisaillement critique en N/m^2

La hauteur d'eau correspondant à cette contrainte de cisaillement sur le fond est alors :

$$H = \tau_{crD50} / \rho g J$$

puis le débit critique est calculé par la formule de Manning-Strickler :

$$Q = K H^{5/3} J^{1/2} w$$

(mêmes notations que ci-dessus)

Les formules de transport solide, de même que de nombreuses autres formules disponibles dans la littérature sont entachées d'une très forte marge d'erreur liée à leur caractère empirique et à l'évaluation des différentes variables : pente, granulométrie, ... Or, l'évaluation de ces paramètres est extrêmement délicate car très variable d'une section à l'autre, d'un point à l'autre sur une même section. Les résultats donnés par ces formules ne doivent donc être pris que comme des ordres de grandeur des phénomènes.

La capacité de charriage est généralement évaluée sur une année, en intégrant les capacités journalières calculées pour chaque jour où le débit dépasse la valeur seuil de charriage. On utilise pour cela la courbe des débits classés disponible par exemple dans la banque HYDRO.

Le débit classé de n jours est le débit atteint ou dépassé n jours dans l'année.

L'application des formules précédentes montre que sur de nombreux cours d'eau :

- le débit de rupture de l'armure est généralement élevé, souvent proche du débit de pleins bords,
- le débit de transport (pour la granulométrie de la sous-couche, ou la granulométrie des berges si l'on fait l'hypothèse que la sous-couche en est le reflet) est généralement plus bas (souvent dépassé plusieurs dizaines de jours dans l'année).

Le calcul pour le charriage doit être complété par une évaluation de la capacité de transport en suspension. Le résultat global, qui peut être donné tronçon par tronçon, permet alors d'approcher le volume nécessaire annuellement au maintien des conditions d'équilibre, voire, en cas de besoin, à l'exhaussement du plancher alluvial. La hauteur des berges étant connue, on obtient ainsi les surfaces à éroder annuellement pour saturer le cours d'eau en matériaux et éviter l'incision du lit ou provoquer l'exhaussement.



Réclamant une bonne pratique et, si possible, des données de calage, cette approche nécessite des données hydrologiques, un modèle hydraulique ou au moins des lois hauteur-débit fiables au droit des différentes sections de calcul, une bonne connaissance de la granulométrie. Elle devra donc être limitée aux cas où la nécessité d'une recharge alluviale est démontrée et à ceux où un risque de capture par des gravières en lit majeur est avéré.

Un exposé plus détaillé de l'évaluation du transport solide est présenté dans le "guide méthodologique de gestion du transport solide et des atterrissements" réalisé dans le cadre des études inter-Agences (à paraître).

Sous-étape II.3 : Approche géomorphologique historique

Ce troisième type d'approche est le premier à prendre implicitement en compte l'anthropisation du milieu. Elle conduit à une cartographie de l'espace de divagation historique et de l'espace de divagation résiduel.

Espace de divagation historique : concepts

La définition de l'espace de mobilité fonctionnel d'un cours d'eau peut être en partie basée sur l'analyse de sa dynamique fluviale récente (2 derniers siècles) et notamment sur l'**emprise spatiale historique des déplacements du lit**.

Parallèlement, l'**évolution du style fluvial** (passage du tressage au méandrage, changement des caractéristiques géométriques en plan : longueur d'onde, amplitude, longueur d'arc, rayon de courbure des sinuosités, évolution de la largeur de la bande active) peut fournir des **indices d'augmentation ou de diminution de l'activité fluviale en plan**.

Espace de divagation historique : méthode

Identification et cartographie de l'espace de divagation historique :

• Principes

D'amplitude généralement plus limitée que EMAX, l'espace de divagation historique sera déterminé essentiellement par analyse de documents anciens : cartes d'état major (mi à fin 19^e siècle, 1/40 000 à 1/80 000), cartes IGN anciennes (1/20 000 à 1/25 000), photographies aériennes depuis 1930-1940 environ, 1/15 000 à 1/30 000). Les documents fourniront les indices de l'activité dynamique récente du cours d'eau (**150 dernières années**). Les cartes de Cassini (mi à fin 18^e siècle, 1/86 400), de précision moyenne et difficiles à recaler spatialement, ne seront utilisées qu'à titre indicatif.

Le principe de base consiste à superposer au moyen de calques, de logiciels de dessins, de systèmes d'information géographique, l'ensemble des tracés historiques, jusqu'aux plus récents disponibles et à en dessiner l'**enveloppe externe**. Cette enveloppe sera définie comme l'**espace de divagation historique**.

ATTENTION : Valable sur les grands cours d'eau (largeur supérieure à 15 m), cette méthode reste très imprécise pour les petits (25 m = 1 mm au 1/25 000 et 1/3 de mm au 1/80 000).

• Choix des documents

Les cartes d'état major au 1/40 000 ou 1/80 000 permettent de mettre en évidence les tracés récents, depuis 1850 en moyenne. Ce seront donc les documents les plus anciens à prendre

en compte pour cartographier l'amplitude historique. Ils seront complétés par le tracé le plus récent et un tracé intermédiaire (années 1950-1960).

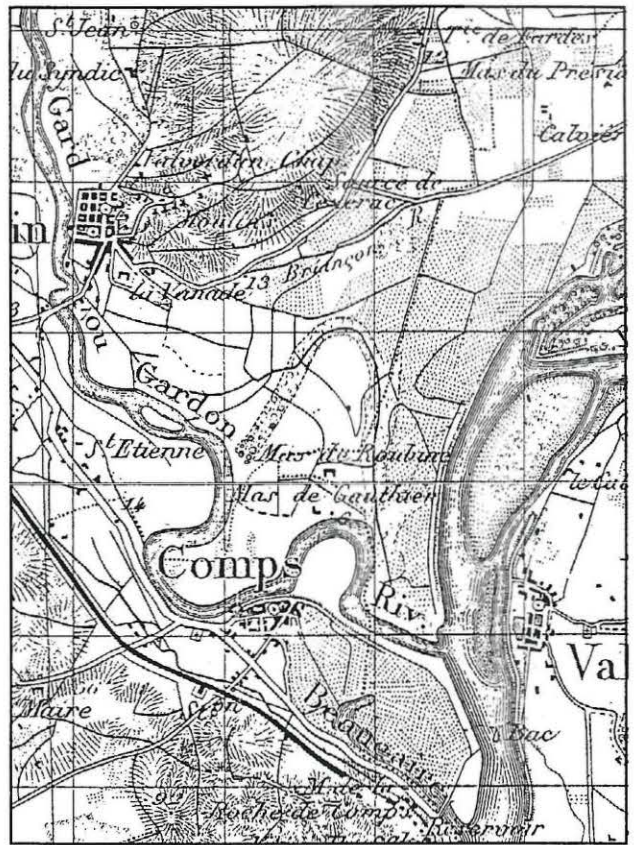


Seuls sont cartographiés les tracés des lits mineurs actifs au moment de la réalisation des documents cartographiques ou photographiques historiques. Les tracés plus anciens, identifiables sur carte ou photographie par la présence de bras morts ou marais ne sont pas systématiquement inclus dans l'espace de divagation historique. Au cas par cas, ils peuvent cependant l'être, sous la responsabilité du chargé d'étude, et à condition qu'ils soient datés, même approximativement.



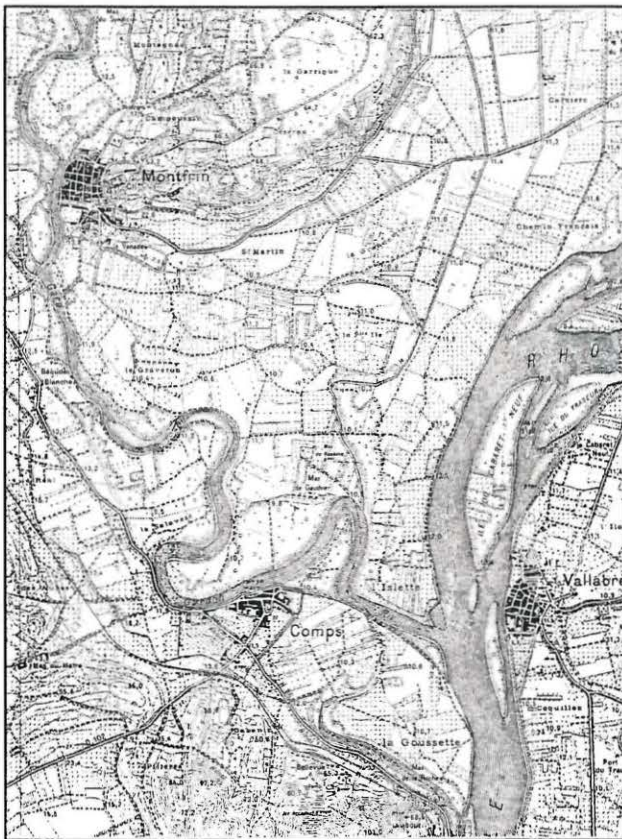
Carte de Cassini 1779 - Vallabrègues
Echelle d'origine : 1/186 400

© IGN - Paris 1998 - Autorisation n° 50-8153



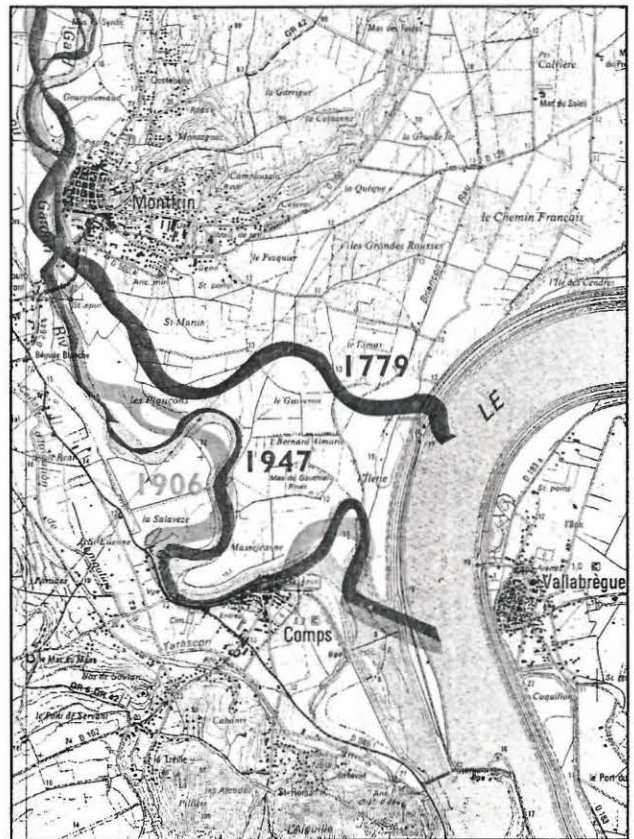
Carte d'Etat Major 1906 - Vallabrègues
Echelle d'origine : 1/180 000

© IGN - Paris 1998 - Autorisation n° 50-8153



Carte IGN 1947 - n°4 - Nimes
Echelle d'origine : 1/120 000

© IGN - Paris 1998 - Autorisation n° 50-8153

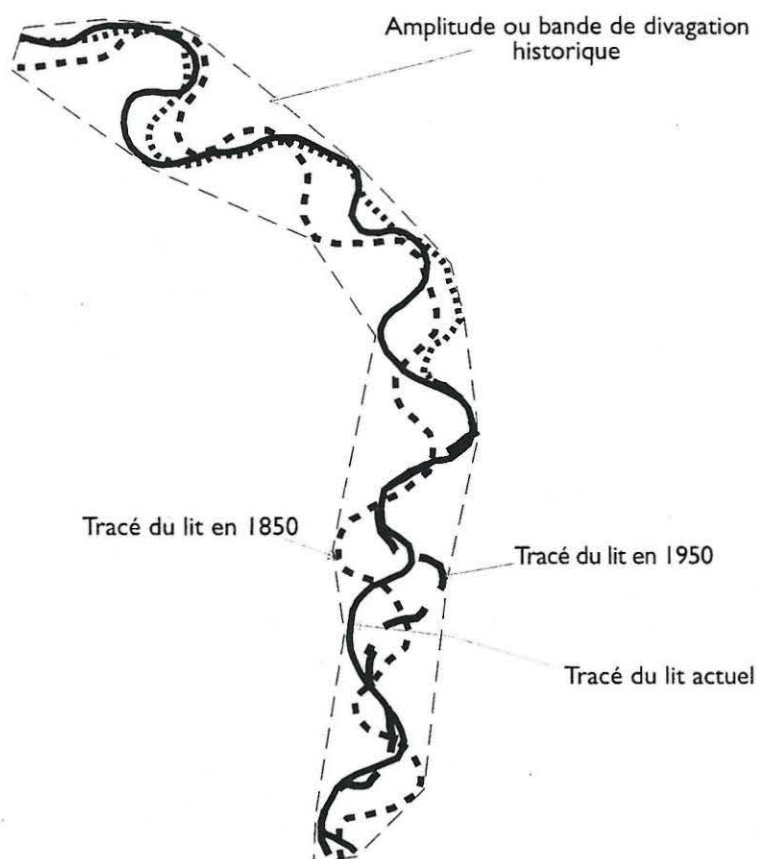


Carte IGN 1983 - n° 2942 est - Beaucaire Tarascon
Echelle d'origine : 1/125 000

© IGN - Paris 1998 - Autorisation n° 50-8153

**ETAPE II :
DELIMITATION
DE L'ESPACE
DE MOBILITE
FONCTIONNEL (EFONC)**

Sous-étape II.3.1 :
Délimitation de l'espace
de divagation historique



Evaluation de l'évolution du style fluvial et identification de la dynamique en plan

Ces mêmes documents serviront de base à une analyse géomorphologique qui permettra de mettre en évidence (ou non) une évolution des caractéristiques morphologiques du cours d'eau.

Les principaux indices mesurables que l'on recherchera sont :

- le changement de style fluvial (passage du méandrage au tressage et inversement). Si changement il y a eu, ou si un changement semble en cours, une décision devra être prise quant au choix du style fluvial à préserver. Par exemple, en cas de tressage manifestement en phase de décrépitude, doit-on (et peut-on) préserver le style en tresses (et accessoirement à quel prix) ?

- l'évolution de la largeur du lit mineur (partie du lit non ou faiblement végétalisée),
- l'évolution des caractéristiques en plan (longueur d'onde, amplitude, longueur d'arc, rayon de courbure des sinuosités).

Une analyse complémentaire des grandes lignes de la dynamique en plan permettra d'en qualifier les types dominants : translation des méandres, recouplement, ..., qui seront utiles à l'analyse prospective.

Un niveau de précision supplémentaire nécessiterait la quantification des taux d'érosions passés et récents, analyse beaucoup plus longue à réaliser mais qui devra l'être pour l'évaluation de l'espace érodable sur 50 ans (ER50).

Espace de divagation résiduel (ou restreint) actuel : concepts

Il s'agit de la **portion de l'espace maximal (EMAX) encore disponible à l'érosion latérale**. Cet espace n'est pas nécessairement inclus dans le précédent (espace historique) dans

la mesure où des érosions actives peuvent se développer aujourd'hui au delà des limites de l'espace historique occupé au cours des deux derniers siècles, voire au delà de l'EMAX.

Espace de divagation résiduel (ou restreint) actuel : méthode

La méthode consiste à **localiser et cartographier les protections de berges, les digues, les ponts, les affleurements rocheux, etc.**, c'est à dire toutes les structures naturelles ou artificielles pouvant faire obstacle à la dynamique latérale.

C'est une étape assez longue car des observations de terrain sont généralement nécessaires, sauf si une cartographie précise de ces contraintes est disponible auprès des services gestionnaires.

Cet espace sera cartographié " par défaut ", en prenant comme fond la carte de l'EMAX et en identifiant les portions de l'EMAX n'étant plus mobilisables en l'état actuel de l'anthropisation.

Cette cartographie sera réalisée en tenant compte de la configuration en plan des protections. Ainsi, un pont, une digue ou une protection de berge pourront limiter les possibilités d'érosion latérale plus largement que simplement au droit de la structure (souvent plusieurs centaines de mètres en aval pour un pont par exemple).



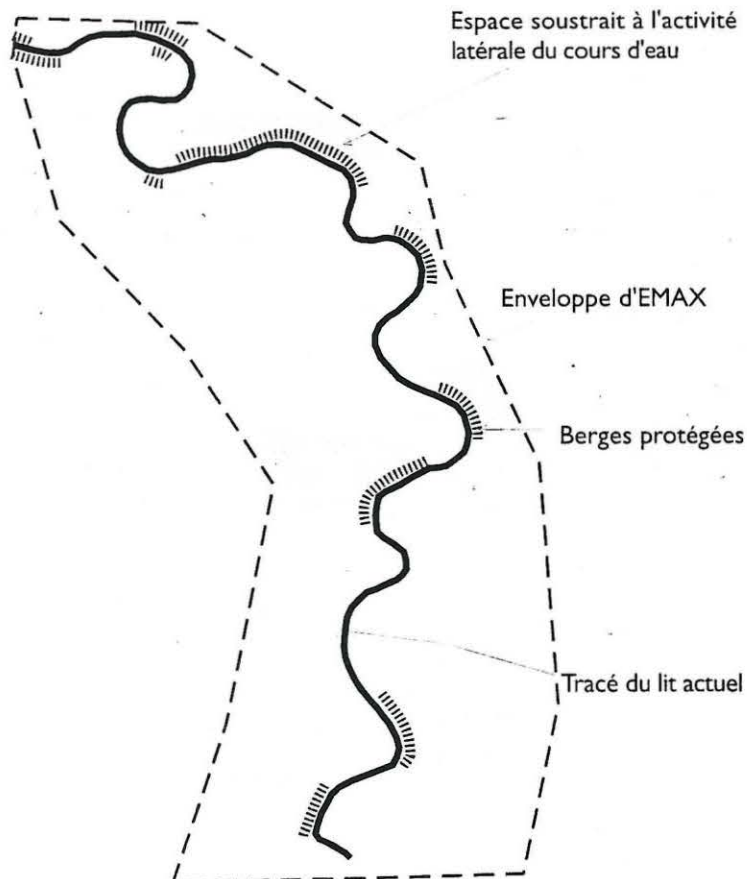
Les protections de berges, digues ou autres structures contraignantes vis à vis de l'érosion latérale ne doivent pas être une limite pour l'espace de mobilité fonctionnel. Celui-ci peut intégrer une partie des zones actuellement soustraites à l'érosion, avec un argumentaire adapté (nécessité vis à vis de l'ajustement morphodynamique, de la recharge alluviale, de la translation des méandres, de la restauration écologique, ...).

La cartographie de l'espace résiduel n'a pour objet que de cerner l'espace actuellement mobilisable, c'est à dire **l'espace de mobilité à préserver. L'espace de mobilité à restaurer** ressortira implicitement de la carte finale de

l'espace fonctionnel, comme le croisement de l'espace fonctionnel et de l'espace actuellement soustrait à l'activité érosive latérale du cours d'eau.

ETAPE II : DELIMITATION DE L'ESPACE DE MOBILITE FONCTIONNEL (EFONC)

Sous-étape II.3.2 :
Délimitation
de l'espace
de divagation résiduel



Sous-étape II.4 : Les zones d'érosion à 50 ans (ER50)

Concepts

Cette étape, basée sur les taux d'érosion latérale actuels ou récents (dernières décennies), vient délimiter **les zones d'érosion probable à moyen terme (40-50 ans) ou zones d'aléa érosion**. D'amplitude généralement limitée, ces

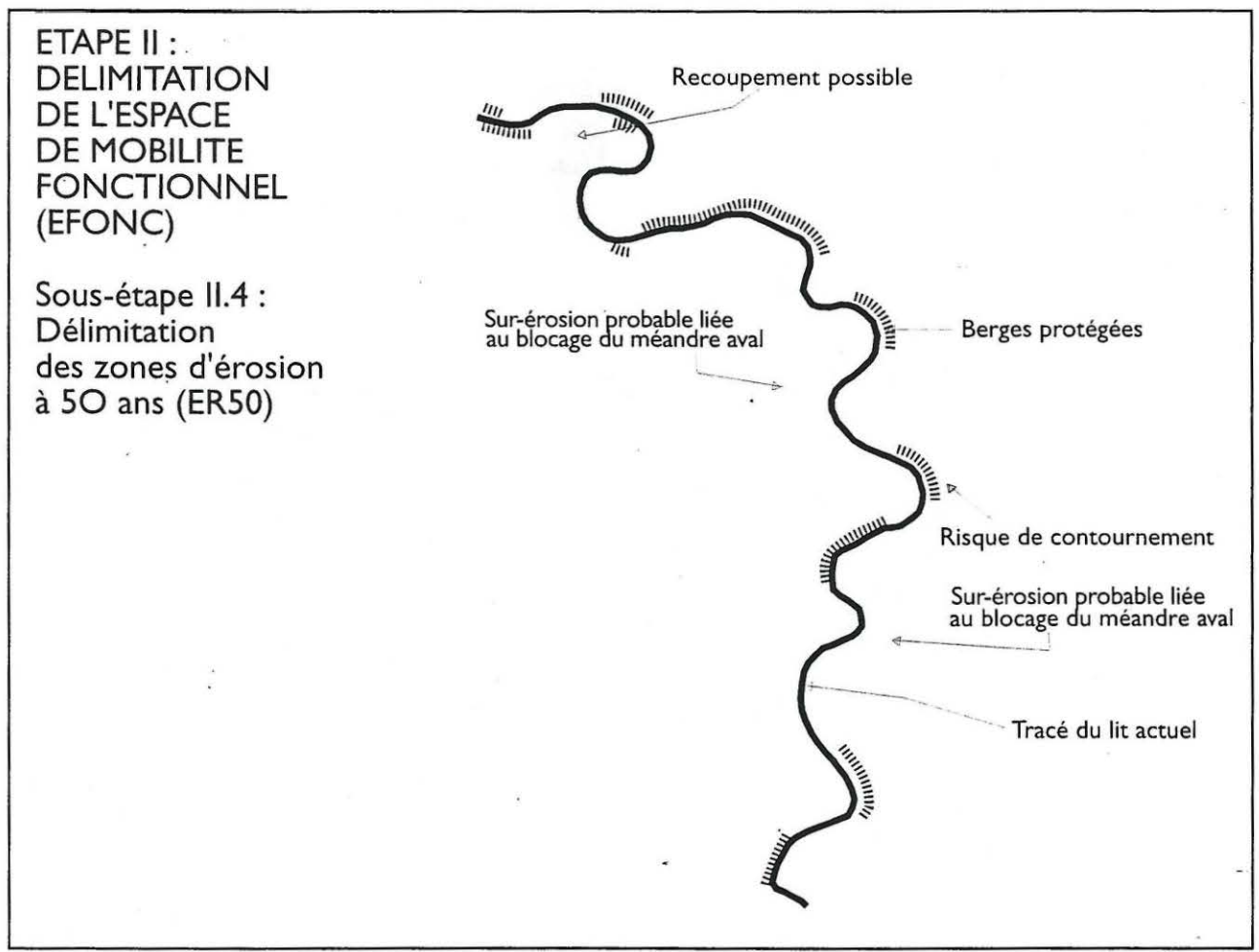
zones permettent aux différents partenaires concernés (riverains, élus) de relativiser la grande superficie apparente des divers espaces cartographiés, qui ne seront mobilisés, même le minimal, que sur plusieurs décennies.

Méthode

Il s'agit sans doute de l'enveloppe la plus délicate à cartographier car elle fait appel à une démarche prospective pour laquelle il n'existe, à notre connaissance, aucune approche mathématique fiable ou faisant appel à la modélisation numérique. La définition des zones érodables à 50 ans reste donc très largement du domaine de l'expertise.

- une superposition de deux tracés du cours d'eau : le plus récent et le tracé d'il y a 20 à 50 ans (selon la disponibilité des documents),
- un calcul des taux d'érosion sur cette période, par tronçon ou sous-tronçon homogène,
- une cartographie des zones érodables tenant compte de ces taux d'érosion et des protections actuelles (nous admettrons, pour cette approche, que les protections sont solides ...).

Pour les délimiter au mieux, nous proposons trois étapes :



Les zones d'érosion à 50 ans doivent tenir compte de l'érosion moyenne (à partir des taux d'érosion calculés) mais aussi, si cela est possible, des recoupements de méandre potentiels, étant admis que l'on prendra en compte l'éventualité

d'événements hydrologiques assez rares (jusqu'à la crue cinquantennale) mais pas d'événements très rares (de fréquence inférieure à la crue cinquantennale) pouvant générer des mouvements du lit de grande ampleur et presque imprévisibles.



La cartographie de ces zones d'érosion à 50 ans se présente sous forme d'entités discontinues, parfois coalescentes, et non sous forme d'enveloppes globales comme les précédentes. L'enveloppe de l'espace de mobilité fonctionnelle avant intégration des contraintes socio-économiques (sous-étape II.5), viendra prendre appui sur les limites externes de ces zones d'érosion à 50 ans.

Sous-étape II.5 :

Délimitation de l'enveloppe minimale fonctionnelle

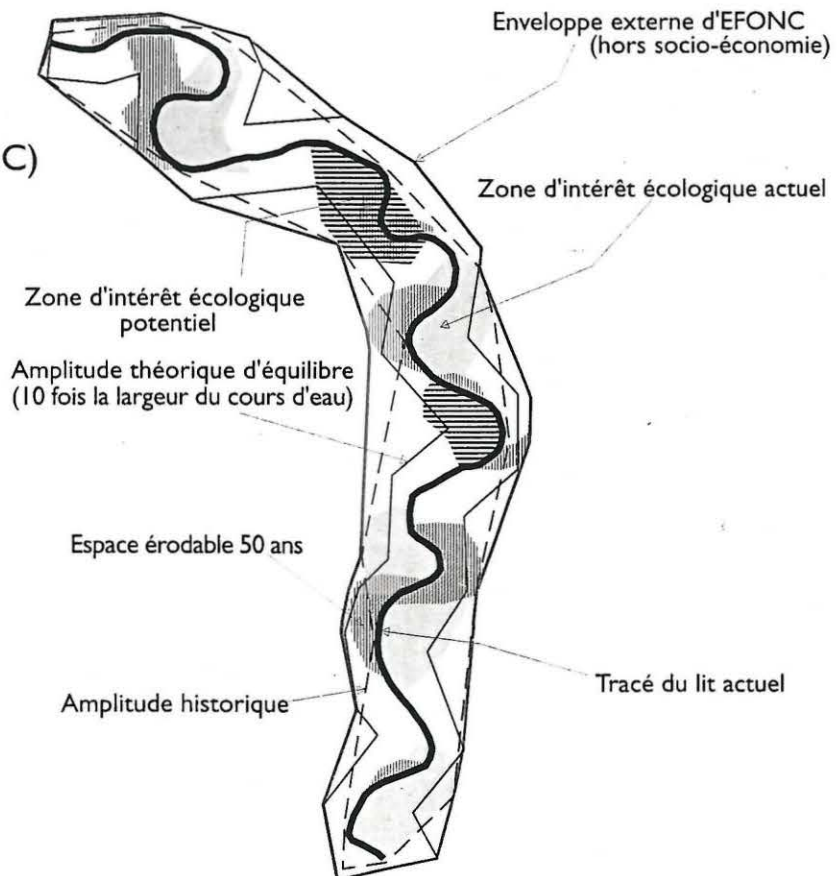
Concepts

Cette sous-étape de synthèse doit permettre de délimiter l'enveloppe externe de l'espace de mobilité fonctionnel, avant la retouche finale

apportée par les aspects socio-économiques (intégration des contraintes anthropiques majeures).

ETAPE II : DELIMITATION DE L'ESPACE DE MOBILITE FUNCTIONNEL (EFONC)

Sous-étape II.5 : Délimitation de l'enveloppe externe d'EFONC (hors socio-économie)



La méthode est simple puisqu'il suffit à ce stade de l'étude de dessiner l'enveloppe externe des deux enveloppes précédentes :

- l'amplitude d'équilibre (pour les rivières à méandres),
- l'amplitude de divagation historique (pour toutes les rivières et notamment les rivières en tresses).

On y intégrera les zones d'érosion probable à 50 ans ainsi que l'enveloppe nécessaire à la recharge alluviale si les analyses correspondantes ont été réalisées.

Evaluation de la qualité écologique des milieux dans l'espace de mobilité fonctionnel

Concepts

L'approche écosystémique n'est pas une véritable sous-étape de la délimitation de l'espace de mobilité fonctionnel. Elle a pour objet la réalisation d'un état des lieux au sein de cet espace fonctionnel.

Elle passe par :

- l'identification et la cartographie des zones d'intérêt écologique actuel, si celui-ci est lié à la préservation de l'espace de mobilité résiduel,
- l'identification et la cartographie des zones d'intérêt écologique potentiel, si l'espace de mobilité était restauré.

Cette approche peut aussi aider le chargé d'étude à retoucher légèrement les limites de l'espace fonctionnel en intégrant éventuellement des zones à haute qualité écologique actuelle situées à l'extérieur mais à proximité immédiate des enveloppes précédentes (exemple : un bras mort plus ancien que les cartes utilisées pour la délimitation de l'espace de mobilité historique mais proche de la limite de l'espace fonctionnel).

Méthodes

• Zones d'intérêt écologique actuel

La méthode consiste à cartographier les zones dont l'intérêt écologique est lié à la dynamique fluviale actuelle ou récente.

Il n'existe pas de méthode standard pour ce type d'évaluation mais de nombreuses études ponctuelles ont testé diverses approches dont certaines sont extrapolables à un grand nombre de cours d'eau.

Le principe général consiste à **identifier, hiérarchiser et cartographier l'intérêt de ces milieux** au regard des paramètres suivants :

- la présence d'espèces végétales remarquables citées dans la littérature, connues des naturalistes ou recensées lors des prospections,
- le rôle fonctionnel des milieux au sein de la vallée en fonction de leur rôle physique (zone d'épandage et de rétention des crues), biologique (corridor écologique, station refuge d'espèces sensibles, zone d'hivernage ou de reproduction d'espèces animales remarquables),
- l'intérêt communautaire, en s'appuyant sur la Directive "Habitats" et la perspective de la mise en place du "réseau Natura 2000",
- l'intérêt faunistique et, en particulier, de l'avifaune en s'appuyant sur la Directive "Oiseaux" et les différents statuts de protection nationaux et internationaux,
- le niveau d'artificialisation.

• Zones d'intérêt écologique potentiel

Il s'agit des secteurs dans lesquels un rétablissement de la dynamique fluviale, par le biais de la définition d'un espace de mobilité, pourrait permettre une régénération des milieux, donc un accroissement de leur richesse écologique.

Par expérience, toute réactivation de la dynamique fluviale dans un tronçon de cours d'eau anciennement mobile mais actuellement stabilisé, se traduira dans un délai très court, par une réactivation de la dynamique écologique, donc une amélioration de la diversité et de la qualité des milieux aquatiques et riverains.

Sous-étape II.6 : Approche socio-économique et délimitation finale de l'espace de mobilité fonctionnel-

Concepts

Cette sous-étape finale nous amène à l'identification et à la cartographie des contraintes anthropiques existant dans l'espace de mobilité fonctionnel précédemment défini, ou à proximité immédiate, dans l'EMAX. **Ces contraintes viendront fixer la limite externe définitive de l'espace de mobilité fonctionnel.**

Dans le cadre de l'espace de mobilité fonctionnel, ne sont prises en compte que les contraintes majeures ne pouvant a priori être remises en question :

- les zones urbanisées ou les ensembles de constructions habitées,
- les voies de communication majeures : routes nationales, départementales, voies ferrées, canaux,
- les ouvrages d'art,
- les puits de captages non déplaçables pour des raisons techniques (hydrogéologiques),
- les gravières en lit majeur dont le volume pourrait bloquer la charge alluviale en charriage et générer une érosion progressive (vers l'aval).

Méthodes

La méthode consiste simplement à positionner ces zones de contraintes sur la carte et à retracer les limites externes de l'espace fonctionnel en tenant compte de cette nouvelle donnée.

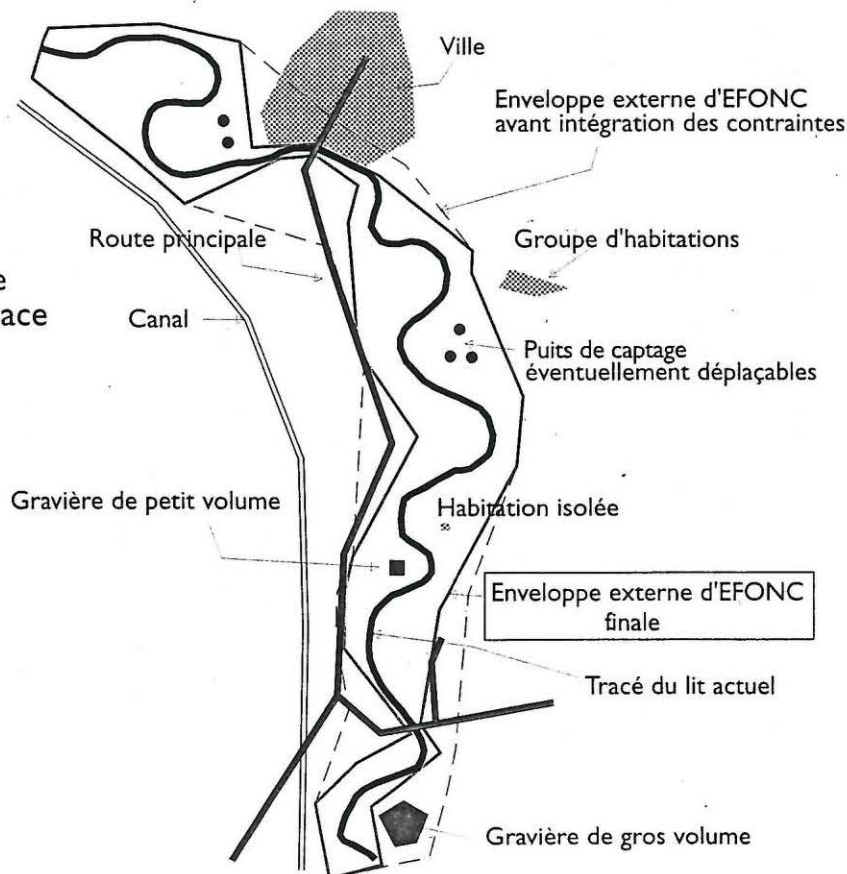
Une cartographie de l'occupation des sols dans l'emprise de l'EMAX pourra être utile pour prévoir le coût des éventuelles mesures

d'accompagnement. Cette cartographie pourrait, à un moindre coût, n'être réalisée que dans l'ER50.

Une dernière étape facultative consistera à croiser cet EFONC final avec l'espace de divagation résiduel. Ressortiront ainsi les portions d'espace de mobilité à préserver et celles à restaurer.

ETAPE II : DELIMITATION DE L'ESPACE DE MOBILITE FONCTIONNEL (EFONC)

Sous-étape II.6 :
Approche socio-économique
et délimitation finale de l'espace
de mobilité fonctionnel



C. ETAPE III : Délimitation de l'espace de mobilité minimal (EMIN)

Concepts

Concept général

Cet espace n'est que l'espace fonctionnel retouché au cas par cas, en fonction des enjeux et concertations locales, pour prendre en considération certaines contraintes anthropiques secondaires telles que :

- des axes de communication communaux,
- des puits de captages,
- certaines gravières de volume restreint,
- certaines habitations isolées.

Préservation de la liberté de translation aval des méandres

A ce stade de l'analyse, il convient d'introduire un concept fondamental qui doit dicter en partie la définition de l'espace de mobilité minimal : le maintien de la capacité de translation aval des méandres.

La plupart des auteurs indiquent que les rivières sinueuses ou méandriformes à charge alluviale de fond (dominée par les processus de charriage) ou à charge mixte (charriage et suspension) développent des sinuosités qui ont tendance à migrer vers l'aval, tels des trains d'ondes non stationnaires. **Ce processus de migration (ou translation) est nécessaire à la préservation de l'équilibre global du cours d'eau.**

La figure 6, extraite d'une étude sur la Loire (Epteau-Horizons, 1997), montre clairement l'effet de pincement lié au blocage de la translation du méandre aval, qui a induit une érosion latérale supérieure à la normale au droit du méandre amont, rive gauche (1 km d'érosion en 150 ans).

Ce principe de préservation de la capacité de translation devra donc être respecté le plus possible, quitte à protéger le tiers central du méandre si celui-ci arrive en limite de l'espace de mobilité, mais en laissant dégager le tiers aval pour la translation.

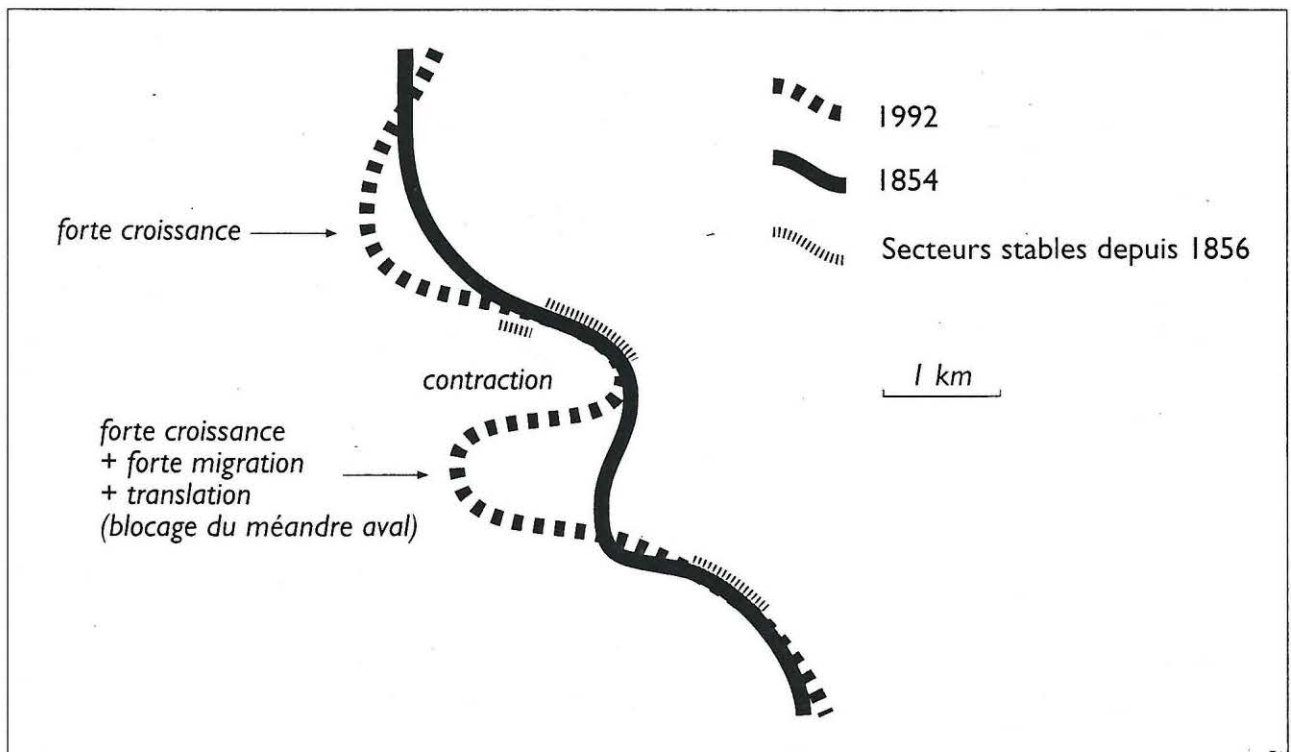


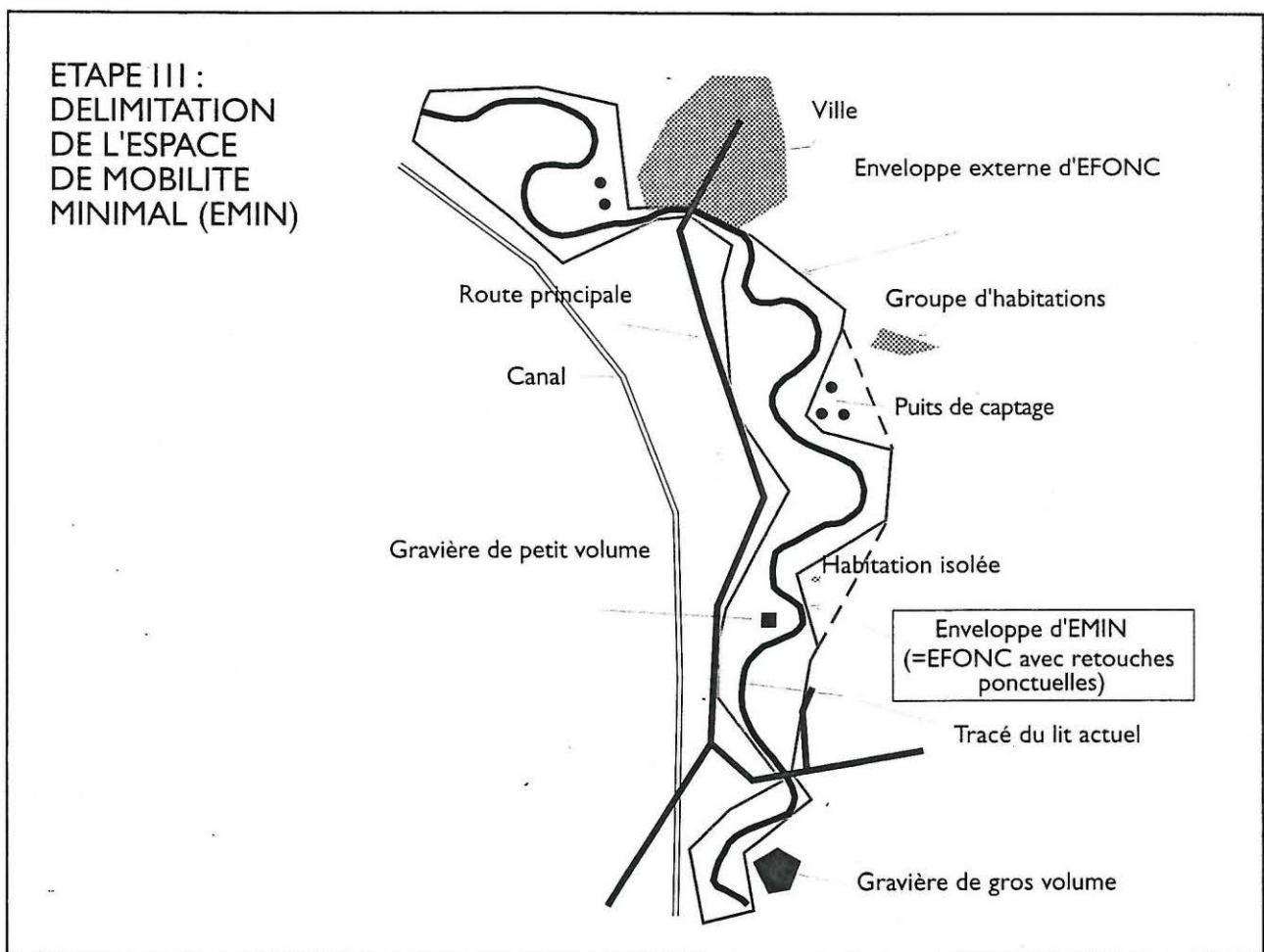
Figure 6

La méthode consiste à réaliser des études ponctuelles au niveau des contraintes secondaires que l'on souhaite exclure de l'espace de mobilité fonctionnel :

- **études techniques** : par exemple pour un captage d'eau potable : recherche de sites de remplacement ou d'autres solutions d'adduction d'eau. S'il n'en existe pas, le champ captant sera exclu de l'espace de mobilité et par conséquent protégé contre l'érosion latérale,

- **études économiques** : évaluation du coût de déplacement du captage (ou autre solution d'adduction d'eau) et comparaison avec le coût de l'ouvrage à réaliser pour le protéger contre l'érosion (avec calcul éventuel des coûts indirects liés au blocage de la dynamique fluviale : incision localisée, pas de recharge alluviale, risque d'accentuation de l'incision globale, etc.).

L'analyse au cas par cas des différentes contraintes à exclure de l'espace de mobilité fonctionnel aboutira, par le jeu de la concertation, à la délimitation de l'espace de mobilité minimal.



D. Grille de choix des méthodes de définition des espaces de mobilité

Ces différentes étapes et sous-étapes ne sont pas à réaliser systématiquement pour toute étude de détermination des espaces de mobilité. Il existe un gradient de précision d'étude qui sera fonction du gradient existant entre les actions de préservation et celles de restauration.

Il est évident que s'il s'agit simplement de préserver une zone actuellement active mais sur laquelle ne s'exerce aucune pression socio-économique, une analyse très simple suffira pour réaliser la cartographie des espaces de mobilité.

Si les pressions sont plus fortes (gravières, zones d'activité, captages d'alimentation en eau potable), et si les enjeux écologiques et paysagers sont élevés, une étude plus poussée sera nécessaire pour définir ces espaces sur les bases les plus rigoureuses et les plus incontestables possibles.

Si les pressions sont identiques (ou encore plus fortes) et menacent de surcroît l'intégrité du fonctionnement morphodynamique, les approches plus complexes peuvent être mises en œuvre

(calcul de la capacité de transport). C'est aussi le cas lorsque les enjeux concernent la reconquête (restauration) d'espaces de mobilité actuellement stabilisés (cartographie des espaces résiduels).

Lorsque la situation est complètement dysfonctionnelle (grave incision du lit, baisse de productivité de la nappe, déchaussement d'ouvrages) la plupart des étapes sont nécessaires à la détermination des espaces de mobilité.

La grille présentée page suivante doit être lue après réalisation de la pré-étude qui permettra de faire le bilan des enjeux et des types d'actions à prévoir (préservation, restauration).

Elle a pour objet de permettre au maître d'ouvrage de choisir rapidement le niveau de précision nécessaire à la détermination des espaces de mobilité, en fonction de ces enjeux et des finances disponibles. Des ordres de grandeur des coûts sont donnés (exprimés en journées ingénieur).

CONCLUSION

Les diverses méthodes présentées ici permettent d'aboutir à la cartographie de trois espaces emboîtés.

Deux d'entre eux peuvent être considérés comme des **espaces de gestion** : l'**espace de mobilité fonctionnel (EFONC)**, l'**espace de mobilité minimal (EMIN)**.

Le troisième (EMAX) est cartographié pour permettre de relativiser l'emprise des deux espaces précédents par rapport à une notion d'espace de mobilité optimal.

Il n'est pas du domaine de cette étude de définir les règles de gestion qui prévaudront dans les limites de ces espaces. Quelques principes peuvent cependant être succinctement proposés ici, qui devraient guider les utilisateurs, riverains et partenaires de la gestion des hydrosystèmes fluviaux.

D'autres concepts, rejoignant celui d'espace de mobilité, sont évoqués dans un deuxième temps.

A. Principes de gestion des espaces de mobilité fonctionnel et minimal

———— L'absence de protection des berges ————

Le **principe général de la gestion des berges** au sein de l'espace de mobilité fonctionnel et de l'espace de mobilité minimal est l'**absence de protection**. Ce principe majeur doit conduire

les riverains à rechercher un type d'occupation des sols au sein de EFONC ou EMIN, ne nécessitant pas à moyen terme de protection contre l'érosion.

———— L'absence d'implantation de gravières ————

Les gravières en lit majeur sont parmi les problèmes les plus préoccupants vis à vis de la gestion globale des cours d'eau car elles posent des problèmes hydrogéologiques, sédimentologiques, géomorphologiques et écologiques.

Expulsés du lit mineur au début des années 80, les exploitants de granulats se sont installés en lit majeur, le plus souvent en bordure du lit actif et principalement dans les convexités de méandres. Ce mouvement de report des exploitations vers les alluvions plus anciennes a été très positif vis à vis de la cause principale de l'incision du lit mineur des cours d'eau. Toutefois, on observe actuellement un mitage des bordures des lits mineurs actifs qui nous oblige à conclure que l'on n'a fait que repousser le problème dans l'espace et dans le temps.

L'**effet pervers**, du point de vue géomorphologique et sédimentologique, est essentiellement **lié aux gravières très volumineuses et très profondes qui risquent de piéger la charge solide en charriage** si elles capturent le cours d'eau à l'occasion d'une crue. Ce piégeage peut alors engendrer une érosion progressive (érosion verticale se propageant de l'amont vers l'aval), le cours d'eau cherchant à se " re-saturer " en sédiments après l'abandon de sa charge grossière dans la gravière (ce qu'il fait généralement en premier lieu aux dépens du fond).

Compte tenu de ce risque, qui semble non négligeable, nous proposons deux types de gestion.

Les gravières anciennes

Il faut extraire de l'espace de mobilité fonctionnel toutes les gravières de volume important situées à proximité amont ou aval d'ouvrages de franchissement. **Ces gravières devront donc être protégées contre l'érosion latérale.**

Certaines gravières de grand volume mais situées en dehors des segments " à risques " (pas d'ouvrage d'art à proximité) et bloquant l'accès à des stocks alluviaux importants, peuvent être

intégrées à l'espace fonctionnel.

En effet, la perte de charge en transit dans la gravière peut parfois être largement compensée par un gain sur le plus long terme de sédiments stockés en lit majeur au delà de la gravière. Il peut donc être intéressant de laisser l'érosion se propager dans la gravière puis au delà. **Ces gravières ne seront donc pas protégées contre l'érosion latérale.**

Les **gravières de petit volume**, même à proximité d'ouvrages d'art, seront intégrées à l'espace de mobilité fonctionnel dès lors qu'un

stock alluvial est disponible au delà de leurs limites. Elles **ne seront pas protégées**.

Les gravières en cours d'exploitation

Les nouvelles exploitations de graviers ou les extensions de gravières actuelles ne devront pas être autorisées dans les limites de l'espace de mobilité fonctionnel. Il pourrait même être

envisagé de renégocier certaines extensions autorisées, par exemple pour éventuellement modifier l'axe d'extension.

———— La mise en place de mesures agri-environnementales ————

D'une manière générale, la mise en place d'une gestion de type mesure agri-environnementale (c'est-à-dire avec consentement des propriétaires) des terrains appartenant à l'espace de divagation

serait souhaitable. Cela permettrait de résoudre une partie des problèmes de pollution, de connexions d'habitats,

B. Autres espaces de gestion

L'objet de ce guide est de fournir des méthodes objectives de délimitation d'espaces de mobilité latérale sur les cours d'eau à dynamique active. Cette approche, qui peut sembler restrictive, se rattache à la définition de l'espace de liberté donnée par le SDAGE Rhône-Méditerranée-Corse (cf. introduction).

Des enveloppes de gestion plus larges peuvent, bien sûr, être proposées au delà des limites des enveloppes de mobilité pour les cours d'eau à dynamique active ayant fait l'objet de cette démarche.

Elles peuvent aussi être proposées sur des cours d'eau sans dynamique latérale pour lesquels la délimitation d'un espace de mobilité est sans objet.

———— Conservation ou restauration de zones végétalisées d'expansion des crues ————

Les espaces végétalisés de façon continue (forêts, pâturages) ont un pouvoir de stockage des crues supérieur à des surfaces non végétalisées ou végétalisées seulement de façon périodique (cultures).

Ces espaces ont d'autre part une capacité de rétention des sédiments les plus fins (au contraire des espaces de grandes cultures dont les éléments les plus fins des sols sont facilement exportés au passage d'une crue) et contribuent ainsi à réduire ou retarder le colmatage des annexes hydrauliques de la rivière. Les haies bocagères, trop souvent disparues, jouaient aussi ce rôle essentiel.

Ce sont également des filtres naturels vis-à-vis de la pollution par les nitrates et les phosphates (absorption d'une partie de ces polluants et retardement du transit vers la nappe de la fraction excédentaire). Ils correspondent le plus souvent à des espaces de fort intérêt écologique (sur le plan ornithologique comme sur le plan de la végétation).

Leur conservation ou leur restauration doit passer en outre par une revalorisation de leurs fonctions de protection (la forêt alluviale notamment constitue le mode d'occupation du sol le plus favorable à une épuration efficace de l'eau dans les échanges nappe - rivière) et de production (production de feuillus précieux ou de ressources cynégétiques pour les espaces forestiers, production animale ou fourragère pour les espaces prairiaux).

L'extension des monocultures forestières (Peuplier principalement), de moindre intérêt quant au rôle de rétention des sédiments fins et vis-à-vis de la dénitrification, est à contrôler et leur conversion (par diversification des essences cultivées) serait à encourager. Ces mesures sont à envisager par le biais de politiques agri-environnementales, ou de type sylvo-environnemental (qui sont encore à inventer).

Conservation ou restauration d'un corridor végétal

Pour que les multiples fonctions des écosystèmes riverains soient efficaces (dont leur rôle tampon vis-à-vis de la rivière), une continuité physique de ces différents écosystèmes doit être conservée ou restaurée.

La dynamique de la rivière détruit en effet certains habitats naturels en causant des extinctions locales d'espèces et en créant des conditions nouvelles pour leur remplacement par des pionnières. Le maintien de l'ensemble d'espèces originelles nécessite donc des habitats équivalents de substitution à proche distance. Leur présence conditionne le maintien sur place de populations animales ou végétales viables.

La taille minimum de ces populations, pour les espèces d'intérêt patrimonial comme pour les espèces gibiers, devrait ainsi déterminer la taille minimum du corridor végétal à conserver ou restaurer (en favorisant les conditions de son installation), tant sur le plan longitudinal (continuum amont - aval) que sur le plan transversal (connexion avec les habitats naturels à l'extérieur des espaces de mobilité).

Là aussi, des mesures de type agri- ou sylvo-environnemental pourraient être préconisées (par le biais notamment de l'encouragement au maintien du pâturage et la mise en jachère de longue durée de secteurs particulièrement sensibles sur le plan de la qualité de l'eau).

Maintien ou recréation des connexions entre la rivière et ses annexes

Les annexes hydrauliques de la rivière jouent un rôle primordial vis-à-vis des biocénoses aquatiques, en particulier comme zones de refuge et de reproduction des poissons.

Certaines de ces annexes peuvent se trouver en dehors des espaces de mobilité délimités. Dans les secteurs les moins mobiles ou dans les secteurs les plus incisés et aménagés où la dynamique

fluviale sera manifestement la plus réduite, l'entretien ou le rétablissement de communications par l'aval entre le cours principal et ces annexes est à encourager.

Ce type de mesure, localement nécessaire, ne saurait toutefois constituer qu'un pis-aller et ne doit en aucun cas servir d'alibi pour limiter les arguments visant à préserver un espace de liberté à la rivière.

Documents cités

Hey R.D. 1982. Design equations for mobile gravel bed rivers. In : Hey, R.D., Bathurst, J.C. and Thorne, C.R. (Eds), *Gravel Bed Rivers*. Wiley, Chichester, 553-580.

Knighton, D. 1984. *Fluvial Forms and Processes*. Arnold, London.

Richard, K.S. 1982. *Rivers : Form and Process in Alluvial Channels*. Methuen, London.

Sear D.A. 1996. The sediment system and channel stability. In : *River channel restoration*. A. Brookes and F. D. Shields (Eds). Wiley, Chichester, 148-177.

Principaux documents utilisés pour l'élaboration du guide

Ashmore P.E., 1991. How do gravel-bed rivers braid ? *Canadian Journal of Earth Sciences*, 28, p. 326-341.

Ferguson R.I., 1993. Understanding braiding processes in gravel-bed rivers : progress and unsolved problems. In Best J.L. & Bristow C.S. (eds) : *Braided Rivers*, Geological Society Special Publications, n° 75, p. 73-87.

Fujita Y., 1989. Bar and channel formation in braided streams. In *River meandering*. S. Ikeda et G. Parker eds. *American Geophys. Union*.

Gilvear D.J., 1993. River management and conservation issues on formerly braided river systems : the case of the River Tay, Scotland. In J.L. Best et C.S. Bristow (éds.) : *Braided Rivers*, London, Geological Society Special Publication n° 75, pp. 231-240.

Hey, R.D. and Thorne, C.R. 1983. Accuracy of surface samples from gravel bed material. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Journal of Hydraulic Engineering*, 109(6), 842-851.

Kern K., 1994. Lessons from ten years of experience in rehabilitating rivers and streams in Germany. In D. Shrubsole (éd.) : *"Natural" Channel Design : Perspective and Practice*, 1st International Conference on Guidelines for "Natural" channel Systems, chap. 18, p. 219-32.

Larsen P., 1992. Restoration of river corridors : the German experience. In G. Petts & P. Callow (éds.) : *River restoration*, Oxford, Basil & Blackwell, p. 124-143.

Ramette M., 1981. *Guide d'hydraulique fluviale*. EDF. LNH

Yalin M.S., 1992. *River Mechanics*, Pergamon Press Ltd, England

Synthèse bibliographique des relations géométriques des rivières à méandres

(l =longueur d'onde (m), A =amplitude (m), w =largeur à pleins bords (m), Q_{pb} = débit à pleins bords (m^3/s))

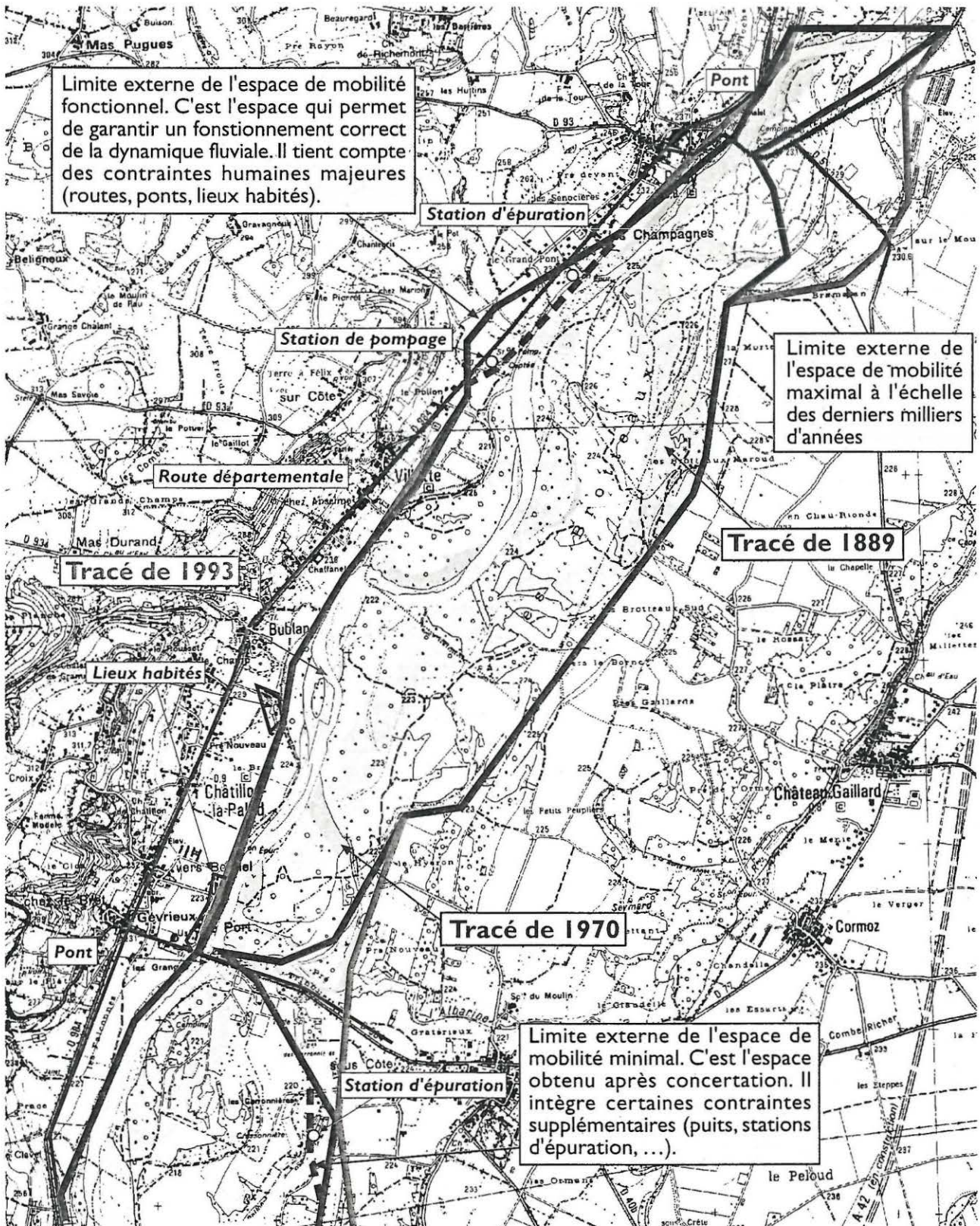
I. Relations géométriques entre la longueur d'onde et le débit ou la largeur à pleins bords.

Relation géométrique	Auteurs
en fonction de la largeur à pleins bords	
$l=6,6w^{0,99}$	Inglis (1949)
$l=10,9w^{1,01}$	Léopold et Wolman (1957)
$l=10w$	Hickin (1977)
$l=6w$	Yalin (1972,1992)
en fonction du débit	
$l=8,3Q_{pb}^{0,62}$	Léopold et Wolman (1957)
$l=36,1Q_{pb}^{0,47}$	Dury (1965)
$l=8,2Q_{pb}^{0,62}$	Carlston (1965)
$l=62Q_{pb}^{0,47}$	Ackers et Charlton (1970)

2. Relations géométriques entre l'amplitude et la largeur à pleins bords ou la longueur d'onde

Relation géométrique	Auteurs
en fonction de la largeur à pleins bords	
$A=18,6w^{0,99}$	Inglis (1949)
$A=10,9w^{1,04}$	Inglis (1949)
$A=4,5w$	Zeller
$A=2,7w^{1,1}$	Léopold et Wolman (1957)
en fonction de la longueur d'onde	
$A=l/2,5$	Léopold et Wolman (1957)

Exemple de cartographie des espaces de mobilité



Aide à la rédaction de cahiers des charges d'études de définition de l'espace de mobilité

Tout cahier des charges doit être rédigé en tenant compte des résultats de la pré-étude qui permettront de choisir le niveau de précision à atteindre.

Objet de l'étude

Quel que soit le niveau de précision choisi, l'objet de l'étude est de délimiter **l'espace de mobilité du cours d'eau tel que défini par le SDAGE**, sur un fond cartographique précis (entre le 1/10 000 et le 1/25 000). Cet espace doit être compris comme un **espace de mobilité fonctionnel** et doit donc avoir pour objectif de garantir sur le long terme la pérennité de la ressource en eau, des ouvrages d'art, de la qualité écologique et paysagère, grâce à la préservation de la dynamique fluviale.

Critères à utiliser

L'espace de mobilité fonctionnel doit être délimité sur la base de critères géomorphologiques, sédimentologiques, socio-économiques et écologiques.

Critères géomorphologiques et sédimentologiques

Le chargé d'étude devra tenir compte des lois régissant la dynamique et la sédimentologie fluviale et notamment des concepts d'équilibre dynamique et de capacité d'ajustement morphodynamique. Dans le cas où des dysfonctionnements géomorphologiques, sédimentologiques et/ou écologiques auront été diagnostiqués lors de la pré-étude, le chargé d'étude devra porter une attention particulière aux possibilités de correction de ces dysfonctionnements par le biais de la définition d'un espace de mobilité.

*NB : Une enveloppe basée sur les taux d'érosion actuels ou passés, peut être cartographiée pour délimiter un **espace d'érosion probable à moyen terme** (40-50 ans). Cette enveloppe, d'amplitude généralement limitée, permettra notamment de relativiser la grande superficie apparente de l'espace de liberté qui sera cartographié mais qui ne sera effectivement mobilisé que sur une beaucoup plus longue période. Elle pourra donc être considérée comme **enveloppe de fort aléa d'érosion à moyen terme**.*

Critères socio-économiques

Les contraintes socio-économiques existant dans le lit majeur du cours d'eau interviendront avec un poids important dans la délimitation finale de l'espace de mobilité fonctionnel. Le chargé d'étude devra cependant distinguer les contraintes majeures, qui seront exclues de l'espace de mobilité fonctionnel, des contraintes secondaires qui pourront y être incluses ou non en fonction de la concertation entre les divers partenaires.

Critères écologiques

L'analyse de la qualité écologique a pour objet la réalisation d'un état des lieux au sein de l'espace qui aura été délimité par le chargé d'étude.

Elle passe par l'identification et la cartographie des zones d'intérêt écologique actuel, si celui-ci est lié à la préservation de l'espace de mobilité résiduel ; l'identification et la cartographie des zones d'intérêt écologique potentiel, si l'espace de mobilité était restauré.

Cette approche peut aussi aider le chargé d'étude à retoucher légèrement les limites de l'espace de mobilité fonctionnel en intégrant éventuellement des zones à haute qualité écologique.

